

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE MEDICINA
Departamento de Anatomía y Embriología Humana I



**ANATOMÍA QUIRÚRGICA DE LOS PEDÍCULOS
VERTEBRALES EN LA REGIÓN LUMBAR EN LA
POBLACIÓN MEXICANA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR**

Pedro T. Cortés González

Bajo la dirección de los doctores

**María José Blázquez Layunta
Fermín Viejo Tirado**

Madrid, 2014

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA Y EMBRIOLOGÍA HUMANA I



Anatomía Quirúrgica de los Pedículos Vertebrales en la Región Lumbar en la Población Mexicana

TESIS DOCTORAL

Pedro T. Cortés González

DIRECTORES:

Dra. María José Blánquez Layunta

Dr. Fermín Viejo Tirado

Madrid, 2013



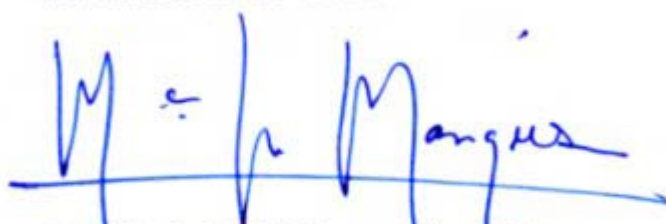
D^a MARÍA JOSÉ BLÁNQUEZ LAYUNTA, Profesora Titular del Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, D. FERMÍN VIEJO TIRADO, Profesor Titular del Departamento de Anatomía y Embriología Humana I de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid.

INFORMAN:

Que el trabajo titulado "Anatomía Quirúrgica de los Pedículos Vertebrales en la Región Lumbar en la Población Mexicana", presentado por D. Pedro T. Cortés González, reúne las condiciones necesarias para ser presentado como Tesis Doctoral, y consideramos que su autor está capacitado para obtener el grado de doctor, siempre y cuando así lo considere el Tribunal designado por la Universidad Complutense de Madrid para juzgar la memoria.

Firmado en Madrid a treinta de septiembre de dos mil trece.

Los directores de la tesis



Fdo: María José Blánquez Layunta



Fdo: Fermín Viejo Tirado

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que me han ayudado en la realización de este trabajo y muy especialmente a las siguientes:

*al Dr. **Fermín Viejo Tirado**, Profesor Titular de Anatomía y Embriología Humana de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid, y a la Dra. **María José Blázquez Layunta**, Profesora Titular de la Universidad Complutense de Madrid, directores de mi tesis doctoral, quienes aportaron sus acertadas observaciones y sugerencias en la realización de esta tesis.*

*a los Doctores en Medicina **Santos Guzmán López**, Director de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León y del Hospital Universitario, y al Profesor **Rodrigo Elizondo**, doctor por la Universidad Complutense de Madrid y profesor del departamento de Anatomía de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León, quienes me han brindado siempre su valioso apoyo.*

*a **mi familia**, con mi amor y gratitud por haber sido el motor y soporte en esta etapa de trabajo y haberles dedicado menos atención mientras desarrollaba este trabajo.*

*a mis **compañeros del Departamento de Anatomía y de otros Departamentos de la UANL**, por su ayuda y colaboración.*

DEDICATORIA:

*a mi esposa, **Aminta**,
estímulo que ha impulsado mi vida, compañera de mil batallas;*

*a mis hijos, **Aminta Mariel y Pedrito**,
que son lo más grande que Dios me ha dado en esta hermosa vida.*

ÍNDICE

ABREVIATURAS	8
INTRODUCCIÓN	10
JUSTIFICACIÓN	11
RECUERDO ANATÓMICO DE LA REGIÓN LUMBOSACRA	14
<i>Principales Estructuras Vertebrales</i>	17
Pilar Anterior	18
Cuerpo Vertebral	18
Disco Intervertebral	18
Pilar Posterior	21
Pedículos	21
Agujero Intervertebral	21
Láminas	21
Apófisis	21
Articulaciones Cigapofisarias o Facetarias	21
<i>Elementos Estabilizadores Pasivos de la Columna Lumbar</i>	22
<i>Elementos Estabilizadores Activos de la Columna Lumbar</i>	23
<i>Aspectos Biomecánicos de la Columna Lumbar</i>	25
PATOLOGÍAS MÁS FRECUENTES DE LA COLUMNA VERTEBRAL LUMBAR	26
<i>Lumbalgias</i>	26
<i>Hernias de Disco</i>	27
<i>Desviaciones</i>	31
Escoliosis	31
Cifosis	31
Medición de la Curva Cifótica Sobre Radiografías	33
Cifosis Lumbar e Inversión Vertebral	36
Test Exploratorios para la Cifosis	37
Lordosis e Hiperlordosis Lumbar	38
Dinámica de la Columna Lordótica	40
Evolución de la Columna Lordótica	41

ANATOMÍA APLICADA Y BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA LUMBAR	43
<i>Biomecánica Osteoarticular</i>	43
<i>El Papel de la Musculatura Lumbar</i>	46
<i>La Unidad de Control Nervioso</i>	49
<i>Teoría de la Inestabilidad y del Dolor Crónico</i>	51
LUMBALGIA	52
<i>Tipos de Dolor</i>	52
Dolor Lumbar Agudo	52
Dolor Lumbar Simple	53
Dolor por Compresión Radicular	53
Patología Espinal Severa	53
Dolor Lumbar Crónico	54
<i>Epidemiología de la Lumbalgia</i>	54
ANTROPOMETRÍA VERTEBRAL LUMBAR	56
<i>Mediciones de las Vértebras Lumbares en Cadáveres</i>	58
<i>Mediciones de las Vértebras Lumbares Mediante Rayos-X y en Cadáveres</i>	61
<i>Mediciones de las Vértebras Lumbares Mediante Rayos-X y Tomografía</i>	
<i>Computarizada</i>	63
<i>Mediciones de las Vértebras Lumbares por Tomografía Computarizada</i>	64
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	67
MATERIAL Y MÉTODOS	69
MATERIAL	70
MATERIAL DEL ESTUDIO EN EL CADÁVER	70
<i>Diseño</i>	70
<i>Población de Estudio</i>	70
<i>Características de la Población de Estudio</i>	70
<i>Material de Laboratorio</i>	71
MATERIAL DEL ESTUDIO POR TÉCNICAS DE IMAGEN	72
<i>Diseño</i>	72

<i>Población de Estudio</i>	72
<i>Características de la Población de Estudio</i>	72
<i>Material de Laboratorio</i>	73
MÉTODOS	73
MÉTODO DEL ESTUDIO EN EL CADÁVER	73
MÉTODO DEL ESTUDIO POR TÉCNICAS DE IMAGEN	76
DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA AMBOS TIPOS DE ESTUDIO	77
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	78
RESULTADOS	82
ESTUDIOS REALIZADOS EN CADÁVER	83
ESTUDIOS REALIZADOS CON TÉCNICAS DE IMAGEN	96
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MEDIDAS EN EL CADÁVER Y SOBRE TAC	118
DISCUSIÓN	120
CONCLUSIONES	134
RESUMEN	136
SUMMARY	143
REFERENCIAS	149

ABREVIATURAS

ALL:	Ligamento longitudinal anterior.
Alt:	Altura.
Anch:	Anchura.
AP:	Antero-posterior.
Art Sup:	Apófisis articulares superiores.
Asim:	Asimetría.
Art Inf:	Apófisis articulares inferiores.
A Td:	Apófisis transversa derecha.
A Ti:	Apófisis transversa izquierda.
DIV:	Disco intervertebral.
DSIE:	Longitud entre las corticales externas superior e inferior del pedículo.
DTE:	Diámetro transverso de ambas corticales externas del pedículo.
DTI:	Diámetro transverso de ambas corticales internas después de la osteotomía del pedículo.
EMG:	Electromiografía.
FDA:	U.S. Food and Drug Administration Regulations.
IPD*:	Distancia interpedicular (medición usada por varios autores).
L1-L5:	Vértebras lumbares 1 a 5.
Long:	Longitud.
LVD:	Diámetro anteroposterior de la superficie inferior del cuerpo vertebral.
LVW:	Anchura inferior del cuerpo vertebral.
Max:	Máximo.
Min:	Mínimo.
MPD:	Distancia medio-pedicular.
NZ:	Zona neutra.
PDH:	Altura del pedículo.
PDW:	anchura del pedículo.
PL:	Longitud del pedículo vertebral.

PLL:	Ligamento longitudinal posterior.
ROM:	Rango de movimiento.
S1:	Primera vértebra del sacro.
SCD:	Longitud anteroposterior del canal medular (diámetro del canal medular).
SCW:	Diámetro transversal del canal medular (anchura del canal medular).
T:	Transversal.
TAC:	Tomografía axial computarizada.
UVD:	Diámetro anteroposterior de la superficie superior del cuerpo vertebral.
UVW:	Diámetro transversal superior del cuerpo vertebral.
VBha:	Longitud superior-inferior de la superficie anterior del cuerpo vertebral (altura del cuerpo vertebral, anterior).
VBhp:	Longitud superior-inferior de la superficie posterior del cuerpo vertebral (altura del cuerpo vertebral, posterior).

INTRODUCCIÓN

JUSTIFICACIÓN

Desde el punto de vista de la neurocirugía, mi especialidad, la lumbalgia es una de las razones más frecuentes de consulta médica en el estado de Nuevo León y en general en la república Mexicana; se asocia con desórdenes tales como fracturas, dislocaciones, enfermedades degenerativas, tumores y enfermedades posicionales.

En la actualidad, el tratamiento de estas enfermedades puede ser quirúrgico o médico. Para el tratamiento quirúrgico se han desarrollado placas, espaciadores interespinosos y barras, fijados por tornillos transpediculares que son colocados mediante abordaje quirúrgico posterior. La fusión vertebral es uno de los tratamientos más usados en este tipo de enfermedad.

La cirugía rara vez se utiliza para tratar la lumbalgia (dolor en la parte baja de la espalda), dado que en la mayoría de los casos no puede ayudar a resolver el factor causante. En general estas cirugías se realizan para tratar hernias de disco, aunque un buen número de las personas con hernias de disco no necesitan cirugía. La cirugía de la hernia de disco está indicada cuando la sintomatología está causando ciática grave e incapacitante debido a la estenosis espinal.⁴⁷

La cirugía también podría considerarse en situaciones más inusuales, como en el caso de:

- Una fractura espinal causada por una lesión.
- Una infección espinal, como osteomielitis o un absceso.
- Una afección de "inestabilidad de la columna vertebral", como espondilolistesis.
- Un tumor espinal.
- Rehabilitación después de la cirugía.

Un programa de rehabilitación integral es muy importante después de la mayoría de las cirugías de espalda. A medida que se recupera flexibilidad y se acondicionan los músculos de la espalda y del abdomen, se aumenta su resistencia a la actividad, y se incrementan las probabilidades de que el tratamiento sea exitoso.

En nuestra experiencia como neurocirujanos en nuestro país, aproximadamente el 95% de las hernias discales que causan compresión radicular se resuelven sin cirugía. En el 5% restante, la cirugía está indicada por la presencia de una paresia progresiva, o porque, pese a las seis semanas de tratamiento conservador, persiste una paresia clínicamente relevante o un dolor radicular intenso.

En los síndromes radiculares con estas características está indicado solicitar una resonancia magnética, y evaluar la correlación clínico-radiológica para confirmar el diagnóstico. Por el contrario, la resonancia no está indicada en el resto de los casos, ya que el 30% de los pacientes sanos presentan protrusiones o hernias discales irrelevantes, y su detección casual en lumbalgias debido a otro motivo puede inducir la prescripción inadecuada de la cirugía, lo que constituye el principal motivo del síndrome de fracaso quirúrgico.

Las medidas antropométricas de los elementos vertebrales lumbares son útiles para planificar y desarrollar prótesis y cirugía robótica, así como para ejecutar procedimientos quirúrgicos. Por esta razón es necesario conocer en detalle las características anatómicas de las vértebras lumbares, las cuales describiremos a continuación. Estas características vertebrales son de importancia particular para el desarrollo de nuestra tesis doctoral, titulada: "Anatomía quirúrgica de los pedículos vertebrales en la región lumbar en la población mexicana".

La elección de este tema como motivo de tesis doctoral se debe a que somos profesores de Anatomía y trabajamos como neurocirujanos en cirugía de la columna vertebral en el hospital universitario Dr. José Eleuterio González (Monterrey, México), donde el número de casos clínicos diarios sobre esta patología es muy numeroso. Estas condiciones nos permitirán llegar a conclusiones con estadística fiable por la cantidad de enfermos que visitamos diariamente. Las características de los cuerpos vertebrales, pedículos, láminas, procesos articulares, las dimensiones del canal medular y los ángulos de lordosis lumbar son de importancia particular (Figs. 1-3).³⁴



Figura 1. Características generales de la columna vertebral.¹¹⁴

RECUERDO ANATÓMICO DE LA REGIÓN LUMBOSACRA

Dada la importancia de la anatomía para este estudio y puesto que somos profesores de esta disciplina, haremos a continuación un resumen de las características más importantes de la columna lumbar, además, haremos hincapié en la descripción de esta región anatómica por ser el lugar más afectado por los padecimientos degenerativos en la población mexicana económicamente activa.



Figura 2. Columna vertebral ósea y cintura pélvica. Visiones posterior (a) y anterior (b). Departamento de Anatomía y Embriología Humana. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.

La columna lumbar tiene 5 vértebras, abreviadas como L1 a L5. La forma y tamaño de cada una de las vértebras lumbares están diseñados para cargar la mayor parte del peso corporal. Cada uno de los elementos estructurales de una vértebra lumbar es más grande, más ancho y más amplio que los componentes similares ubicados en las regiones cervical y torácica. La columna lumbar tiene un rango de movimiento mayor que la columna torácica, pero menor que la cervical. Las articulaciones facetarias lumbares permiten que exista bastante extensión y flexión, pero limitan la rotación (Figs. 1-4).^{3,90,96}



Figura 3. Columna vertebral ósea y cintura pélvica. A la izquierda, visión lateral (Departamento de Anatomía y Embriología Humana. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid). A la derecha, sección sagital de la columna vertebral torácica y lumbar (escultura en escayola policromada de finales del siglo XIX. Museo de Anatomía “Javier Puerta”. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid).



Figura 4. Sección sagital del segmento lumbar de una columna vertebral humana. Departamento de Anatomía y Embriología Humana I. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.

Describiremos el hueso sacro que en conjunto con L5 y la pelvis dan un soporte importante a esta región lumbar, interviniendo de manera directa en el soporte de la sección superior y en la dinámica del movimiento de la estructura.²⁷

El sacro se localiza detrás de la pelvis, está constituido por la fusión de cinco vértebras (S1 a S5), y se interpone entre los dos huesos de la cadera que conectan la columna con la pelvis. La última vértebra lumbar (L5) se articula con el sacro. Inmediatamente debajo del sacro se encuentran las vértebras coccígeas, que se fusionan para formar el cóccix (Figs. 1 y 5).^{64,102,103}



Figura 5. Sección sagital del segmento sacrococcígeo de una columna vertebral humana. Departamento de Anatomía y Embriología Humana I. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.

Principales Estructuras Vertebrales

El conocimiento pormenorizado de la anatomía vertebral es básico para todas las técnicas de instrumentación que se quieran realizar sobre la columna vertebral. Es por ello que incluimos, a continuación, un pequeño resumen de las principales estructuras vertebrales relacionadas con los dos pilares funcionales de la columna vertebral, anterior o de soporte y estabilidad, y posterior o de movimiento.^{79,85,106}

Pilar Anterior

El cuerpo vertebral es la porción mayor de una vértebra y vista desde arriba, por lo general, tiene forma ovalada. Desde una perspectiva lateral, el cuerpo vertebral tiene la forma de un reloj de arena, siendo de mayor grosor en los extremos que en la parte media (Fig. 6). El cuerpo vertebral está recubierto por resistente hueso cortical y en su interior hay hueso esponjoso. El primero es denso, sólido y resistente, mientras que el segundo, más débil, está constituido por estructuras vagamente entretejidas que se asemejan a un panal.⁸⁵ Las trabéculas óseas siguen las líneas de fuerza que atraviesan el hueso.⁷⁹

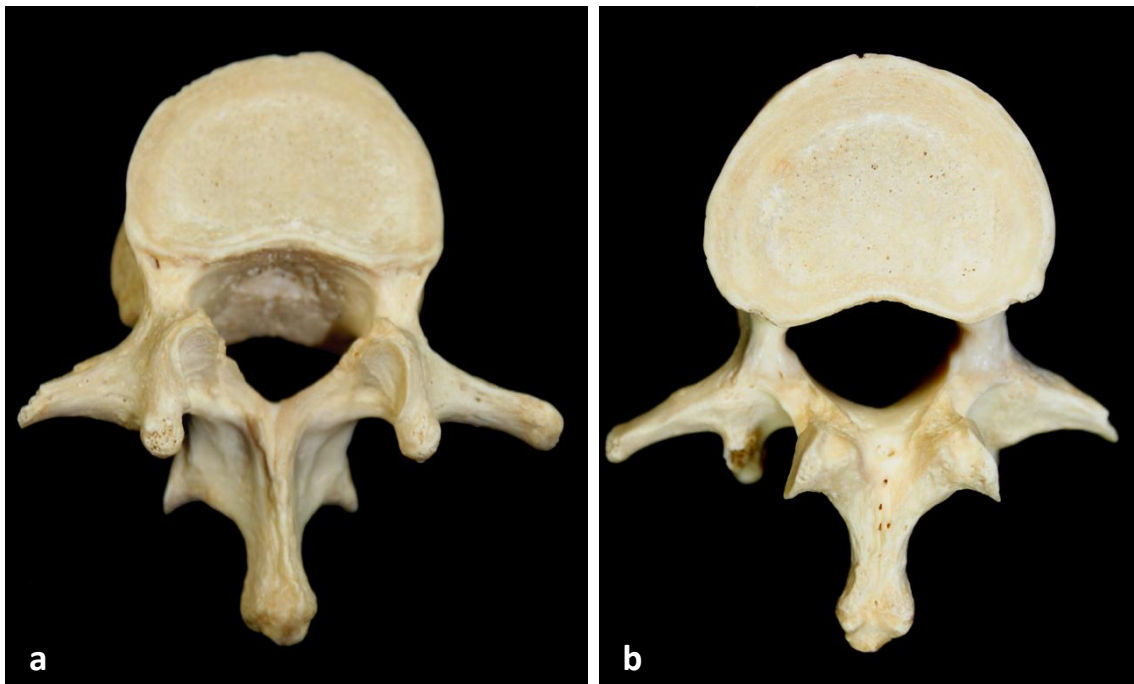


Figura 6. Anatomía de las vértebras lumbares. Visiones superior (a) e inferior (b). Departamento de Anatomía y Embriología Humana I. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.

Entre cada uno de los cuerpos vertebrales se encuentra una especie de "cojín" denominado disco intervertebral, que une las dos caras vertebrales mediante una articulación de tipo anfiartrosis y constituye un sistema

amortiguador, pretensado y cerrado.⁷⁹ Entre las caras vertebrales de las vértebras adyacentes existen dos capas de cartílago que las recubre y que forman la cobertura superior e inferior del disco, denominada por los autores anglosajones como placa terminal vertebral (*vertebral end plate*) y que a todos los efectos debe considerarse como parte integrante del disco.⁷⁹

Cada disco amortigua los esfuerzos e impactos en los que incurre el cuerpo durante el movimiento y evita que haya desgaste por fricción entre las vértebras. Los discos intervertebrales son las estructuras más grandes del cuerpo que no reciben aporte vascular y asimilan los nutrientes necesarios a través de ósmosis. Cada disco consta de dos partes: el anillo fibroso y el núcleo pulposo (Figs. 7 y 8).^{3,54,64,115}



Figura 7. Anatomía de los discos intervertebrales.⁷⁷

El anillo fibroso es una estructura rígida, semejante a una llanta, que encierra un centro gelatinoso, el núcleo pulposo. El anillo incrementa la estabilidad de rotación de la columna y le ayuda a resistir el esfuerzo de compresión, siendo más

grueso en su porción anterior. El anillo consta de agua y capas de resistentes fibras de colágeno elástico. Las fibras están orientadas en forma horizontal hacia diferentes ángulos, similar al diseño de una llanta radial, es decir ordenación oblicua de 30-40° con inclinación alternante de derecha a izquierda entre cada capa, lo que hace que sean prácticamente perpendiculares entre sí y soporten bien las compresiones, pero muy mal los cizallamientos.^{79,125,134}

El núcleo pulposo es la reminiscencia de la estructura notocordal embrionaria y el 70% del mismo es agua. La deshidratación por el paso del tiempo conlleva una disminución de la altura del espacio, modificando de forma trascendente la distribución de las cargas.



Figura 8. Pilares anterior y posterior de la columna vertebral. Articulaciones cigapofisarias.¹¹⁴

La porción central de cada disco intervertebral está rellena de una sustancia elástica, similar a un gel. Junto con el anillo fibroso, el núcleo pulposo transmite tensión y cargas de una vértebra a otra. Al igual que el anillo fibroso, el núcleo pulposo está compuesto de agua, colágeno y proteoglicanos. No obstante, la proporción de estas sustancias es diferente, ya que el núcleo contiene más agua

que el anillo. Así mismo, a nivel lumbar, el núcleo pulposo tiene menor proporción de colágeno que otras regiones y esta proporción disminuye con la edad.^{79,93}

Pilar Posterior

Los pedículos son dos apófisis cortas, formadas de resistente hueso cortical, que protruyen desde la parte posterior del cuerpo vertebral. Tienen una pequeña escotadura en su superficie superior y una escotadura profunda en su superficie inferior. Cuando las vértebras están una encima de la otra, las escotaduras pediculares forman un área denominada agujero intervertebral. Esta área es de vital importancia, ya que es a través de ella que las raíces nerviosas salen de la médula espinal hacia el resto del cuerpo y la columna vertebral cumple así un importante papel de protección (Figs. 6 y 8).^{125,138}

Las láminas son dos placas óseas relativamente planas que se extienden a ambos lados de los pedículos, fusionándose en la línea media.

Existen tres tipos de apófisis en una vértebra: articulares, transversa y espinosa. Las apófisis sirven como puntos de conexión de ligamentos y tendones.

Las cuatro apófisis articulares se vinculan a las apófisis articulares de las vértebras adyacentes, formando así las articulaciones facetarias. Éstas, en combinación con los discos intervertebrales, son las que permiten que la columna tenga movimiento. La apófisis espinosa se extiende en forma posterior, a partir del punto en que se fusionan las dos láminas, y actúa como una palanca que activa el movimiento vertebral.^{45,140}

Las articulaciones facetarias o cigapofisarias son de carácter sinovial, característica que implica movimiento (Fig. 8). Las superficies articulares, ligeramente curvadas en el plano transversal, se encuentran recubiertas de cartílago articular y rodeadas de una cápsula fibrosa, reforzada en su cara anterior

por el ligamento amarillo y más débil en su cara posterior. Esta cápsula es más laxa a nivel lumbar, donde forma pliegues con bolsas grasas.

La orientación de las superficies articulares, diferente en cada segmento vertebral, ligeramente desplazadas hacia el plano frontal y dirigidas hacia atrás y hacia dentro condicionan la estática (adaptación para resistir fuerzas de cizallamiento) y la dinámica (movimientos de flexo-extensión y lateralización, pero no rotaciones) de este segmento lumbar.

Estas articulaciones ayudan a la columna a flexionarse o doblarse, girar y extenderse en distintas direcciones. Aunque facilitan el movimiento, también lo restringen si es excesivo, como en el caso de la hiperextensión o la hiperflexión (es decir, el latigazo).^{64,79}

Elementos Estabilizadores Pasivos de la Columna Lumbar

El sistema de ligamentos de la columna vertebral, en combinación con los tendones y músculos, proporciona una especie de refuerzo natural que ayuda a proteger a la columna de las lesiones (Fig. 9). Los ligamentos mantienen estables las articulaciones durante los estados de reposo y movimiento y, más aún, ayudan a prevenir las lesiones provocadas por la hiperextensión e hiperflexión.^{77,114} Los principales ligamentos estabilizadores de la columna vertebral se reflejan en la Tabla 1.

Los ligamentos de la columna vertebral presentan una importante inervación, habiéndose identificado mecanorreceptores en el ligamento longitudinal anterior y en las dos o tres capas más periféricas del anillo fibroso del disco intervertebral. Estos mecanorreceptores parecen tener gran importancia en la información de carácter postural.⁷⁹

Tabla 1. Elementos estabilizadores pasivos de la columna vertebral.

Nombre del Ligamento	Descripción
Ligamento Longitudinal Anterior (ALL*) (importante estabilizador de la columna).	Posee aproximadamente una pulgada de ancho. Recorre toda la columna, desde la base del cráneo hasta el sacro. Conecta la parte frontal (anterior) del cuerpo vertebral con la región frontal del anillo fibroso.
Ligamento Longitudinal Posterior (PLL*) (importante estabilizador de la columna).	De aproximadamente una pulgada de ancho. Recorre toda la columna, desde la base del cráneo hasta el sacro. Conecta la parte trasera (posterior) del cuerpo vertebral con la región posterior del anillo fibroso.
Ligamento Supraespinoso	Une la punta de cada apófisis espinosa con la siguiente.
Ligamento Interespinoso	Es delgado. Se une al ligamento amarillo, que recorre la parte más profunda de la columna vertebral.
Ligamento Amarillo (el más resistente de todos)	Es el más fuerte de todos. Va desde la base del cráneo hasta la pelvis - enfrente y por detrás de las láminas - y protege la médula espinal y los nervios. Rodea las cápsulas de la articulación facetaria.

*: por sus siglas en inglés.

Elementos Estabilizadores Activos de la Columna Lumbar

El sistema muscular de la columna lumbar es complejo y cuenta con diversos músculos que juegan importantes papeles. Su función principal es la de dar soporte y estabilidad a la columna (Fig. 9). De hecho, debemos entender como musculatura de la columna, tanto los músculos posteriores de los canales vertebrales, como los anteriores a la columna y los músculos abdominales.^{85,116}

Los cuatro grupos musculares funcionales de la columna lumbar son: los músculos extensores, los flexores, los flexores laterales y los rotadores. Para

realizar movimientos en una de estas direcciones es necesario el sinergismo de los músculos antagonistas.⁵⁴



Figura 9. Elementos estabilizadores activos y pasivos de la columna vertebral.¹¹⁴

Los músculos extensores (*erector spinae*) están especialmente desarrollados en la columna lumbar y todos ellos tienen un origen común en la porción inferior de la espalda. La masa muscular ascendente se divide en tres columnas verticales: una porción lateral o músculo iliocostal, una porción intermedia o músculo dorsal largo y una porción medial o músculos espinales.

Los músculos flexores de la columna se diferencian en un grupo extrínseco iliotorácico (músculos anchos del abdomen) y otro intrínseco femoroespinal (psoas e iliaco).

El movimiento de flexión lateral no es puro, sino que se trata de una flexión-rotación y se ejerce mediante la contracción de los músculos oblicuos abdominales, el cuadrado lumbar y los intertransversos.

La rotación, muy reducida en la columna lumbar, se produce por la contracción unilateral de los músculos que tengan una dirección más oblicua. La mayoría de los músculos extensores y flexores laterales pueden producir rotaciones.^{16,79,88}

Aspectos Biomecánicos de la Columna Lumbar

Durante los movimientos de torsión existe un aumento de la compresión discal, que es doble de la presión sin torsión. Se ha demostrado de forma epidemiológica que las torsiones son un riesgo para la columna y motivo de aparición de dolor lumbar.⁷⁴ Más del 60% de las lesiones lumbares bajas se relacionan con movimientos de torsión de la columna, más marcados en el sexo femenino y cuando se asocian movimientos mixtos de inclinación-rotación.⁷⁹

Parece ser que la presión dentro del compartimiento muscular lumbar está en relación con determinadas patologías dolorosas,⁶⁰ por lo que la utilización de

soportes lumbares adecuados facilita determinados movimientos y favorece el levantamiento de pesos.¹³³

Por último, un factor muy importante en la estabilidad de la columna lumbar son las carillas articulares de las articulaciones cigapofisarias, por lo que es muy importante evitar la realización de facetectomías en la cirugía de esta zona.¹⁰¹ La presión sobre las articulaciones puede aumentar mucho cuando disminuye la altura del disco, por pérdida de su contenido líquido o por degeneración, provocando dolor.¹³²

PATOLOGÍAS MÁS FRECUENTES DE LA COLUMNA VERTEBRAL LUMBAR

Las patologías más frecuentes observadas en la columna lumbar son el esguince, la lumbalgia y la hernia de disco, aunque hay que tener en cuenta la existencia de problemas derivados de anomalías en la curvatura de este segmento de la columna, que pueden causar o condicionar el diagnóstico y el tratamiento de la lumbalgia.

Lumbalgias

La lumbalgia es un término para el dolor de espalda baja, en la zona lumbar, causado por un síndrome músculo esquelético, es decir, trastornos relacionados con las vértebras lumbares y las estructuras de los tejidos blandos, como músculos, ligamentos, nervios y discos intervertebrales.⁸⁹

Se origina por distintas causas y formas, siendo las más comunes el estrés, el sobre esfuerzo físico y las malas posturas. Su presentación clínica puede ser aguda, si dura menos de 4 semanas, subaguda entre 1 y 3 meses, o crónica si dura más de 12 semanas. Cuando es aguda lo normal es hacer reposo en cama y, en la mayoría de las veces, los síntomas de dolor lumbar muestran una mejora significativa dentro de unos días a unas semanas desde su inicio.⁶

En un número significativo de personas, el dolor lumbar puede ser recurrente, mejorando y empeorando con cada ciclo, y en una pequeña proporción esta condición puede volverse crónica. Estudios poblacionales muestran que el dolor de espalda afecta a la mayoría de los adultos en algún momento en su vida y representa más casos de bajas laborales por enfermedad y discapacidad que cualquier otra condición médica.⁸³

Algunos autores estiman que entre el 70% y el 90% de la población general sufre dolor de espalda bajo (lumbalgia) en algún momento de su vida, y aproximadamente el 4% requiere cirugía en alguna ocasión.⁴²

Hernias de disco

La hernia discal es una enfermedad en la que parte del disco intervertebral (núcleo pulposo) se desplaza hacia la raíz nerviosa, la presiona y produce lesiones neurológicas derivadas de esta lesión. Los discos cartilaginosos que separan las vértebras entre sí están formados por un anillo fibroso externo y por una parte interna blanda (núcleo pulposo), y tienen la función de amortiguar el choque entre los cuerpos vertebrales (Figs. 10-12). Si por algún motivo el disco degenera, la parte interna puede sobresalir a través del anillo fibroso, originando una hernia.⁷⁶

Las causas de las hernias de disco pueden ser por traumatismos, cambios degenerativos diversos o envejecimiento. La salida del núcleo pulposo hacia el canal vertebral, a través del anillo fibroso postero-lateral (ligamento amarillo), provoca un estrechamiento del canal intervertebral, por donde sale la raíz nerviosa y, como consecuencia, se produce la compresión de la raíz nerviosa.

Si la presión es débil se altera la sensibilidad, y, si es mayor, se altera la función motora. Esto es debido a que la raíz nerviosa tiene las terminales sensitivas en la superficie (por lo que se dañan ante presiones leves), y en el interior se encuentran las terminaciones motoras, aguantando más la presión

suave y dañándose si la presión es intensa. La compresión y la subsecuente inflamación de las raíces nerviosas son directamente responsables de los dolores que se sienten a lo largo de la pierna, y que son conocidos con el nombre de ciática.⁸⁰



Figura 10. Resonancia magnética nuclear de la región lumbar. Sección sagital.¹⁴⁸

Generalmente, una hernia de este tipo está precedida por un episodio de dolor en la zona baja de la espalda o por una larga historia de dolores intermitentes. Cuando el núcleo del disco se hernia y comprime al nervio espinal, el dolor de espalda pasa a ser un dolor que se prolonga por la pierna (ciática);

además, puede producir debilidad muscular en las piernas y pérdida de reflejos de la rodilla o el tobillo.



Figura 11. Resonancia magnética nuclear de la región lumbar. Sección sagital.

A nivel lumbar, si la lesión es en L4-5, se comprime la raíz L5 por lo que se observa alteración sensitiva en la parte lateral de la pierna, dorso del pie, y los tres dedos mediales del pie. Se altera la flexión dorsal del pie y de los dedos mediales.

Si la lesión es a nivel de L5-S1, se comprime la raíz S1 produciéndose la pérdida sensitiva en las partes laterales del pie y de sus dos dedos extremos. Se

altera la posición de puntillas del pie y también la flexión plantar y de los dedos. Estos síntomas se agravan al toser o estornudar.^{18,135}

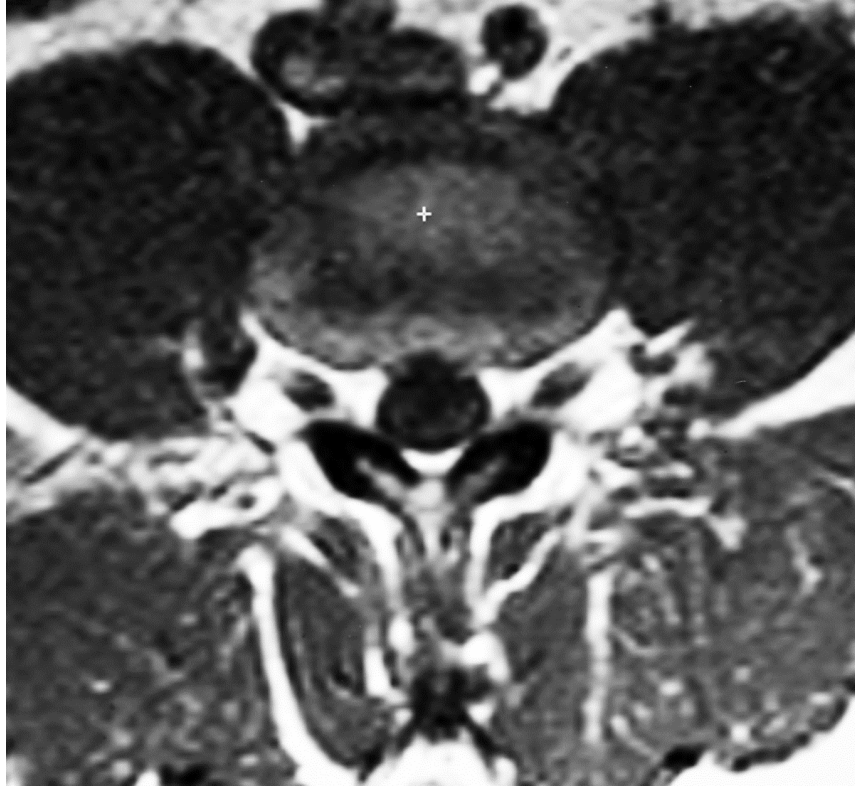


Figura 12. Resonancia magnética nuclear de la región lumbar. Sección transversal.

El diagnóstico inicial se basa en la presencia de dolor en la pierna, y puede ser tan específico que permite estimar la zona de la hernia. La toma de radiografías de espalda y una resonancia magnética de la médula espinal, en especial de la región lumbar, permite evaluar el grado de degeneración del disco. En ocasiones se plantea realizar un estudio de la conducción nerviosa mediante una exploración electromiográfica.

Es importante resaltar los síntomas aquí descritos, correspondientes a esta enfermedad, ya que pueden confundirse con los de otras patologías.³⁸

Desviaciones

Escoliosis

La escoliosis, del griego *skolios* "torcida", puede definirse como una desviación de la columna vertebral en el plano frontal, en un alto porcentaje de los casos sin origen aparente, que puede cursar sin dolor durante varias etapas de la vida, pero que puede dar problemas con la edad avanzada. En cualquier caso, normalmente la columna vertebral presenta desviaciones en el plano frontal, que también se pueden denominar escoliosis fisiológicas.^{15,39}

Cifosis

La cifosis es la deformación más frecuente de la columna vertebral. El origen de la palabra procede del vocablo griego que significa bóveda, convexidad. La podemos definir como una convexidad posterior de uno o varios segmentos del raquis, y alteraciones de las vértebras que adoptan una forma típica de cuña.¹²⁴ Aunque predominantemente afecta a la columna torácica, los mecanismos de compensación terminan por condicionar modificaciones en el segmento lumbar.

En la cifosis el núcleo se desplaza hacia atrás, se produce una separación en la parte posterior de los cuerpos vertebrales y una aproximación de la parte anterior. Se origina una distribución desigual de la presión intradiscal. Aumenta la presión en los bordes anteriores de los cuerpos y los discos, y disminuye en los bordes posteriores de los mismos. Se distienden los ligamentos, tendones y músculos situados en la convexidad y se retraen o acortan los situados del lado cóncavo de la curva.

Las cifosis pueden originar cuadros álgidos o ser asintomáticas. Las algias se localizan en el vértice más acentuado de la deformación. Esta deformación aparece aislada o en combinación con otras deformaciones, como lordosis y escoliosis. La cifosis puede originarse por múltiples causas, tales como:²¹

- Congénitas.
- Posturales.
- Enfermedad de Scheuermann.
- Neuromuscular.
- Traumática o quirúrgica.
- Metabólica.
- Irradiación.
- Displasias del raquis.
- Enfermedades del colágeno.
- Tumores.
- Mielomeningocele.
- Otras.

Estas causas afectan de forma distinta a los individuos en función de la edad, encontrando distintas cifosis según las edades:

1. Niño entre los dos primeros años: la causa habitual es raquitismo, con curva única.
2. Niño en edad escolar: aparece el dorso redondo infantil, como expresión de fácil cansancio y de hipotonía muscular consecutivos a un estado general deficiente. Son niños pálidos, asténicos y delgados. Todavía estos casos se observan en nuestro país.
3. Dorso curvo de los adolescentes o cifosis dorsal juvenil: entre las causas principales se encuentra la osteocondritis vertebral deformante o enfermedad de Scheurman, que se desarrolla en dos años aproximadamente, con dolores de mediana intensidad, de localización dorsal. Cuando el proceso termina, la columna puede recuperar su posición normal, pero muchas veces puede dejar una cifosis como reliquia. Se trata de una osteocondritis de las epífisis vertebrales (epifisitis), que

puede producir una necrosis aséptica de estas epífisis facilitando un aplastamiento de estos segmentos (acuñamientos).

4. Adultos: la causa más común, cuando no existen antecedentes de actitud cifótica, es la traumática.
5. Anciano: la cifosis senil se produce normalmente por adelgazamiento de los discos.

Medición de la curva cifótica sobre radiografías

La valoración exacta del grado de afección requiere medir de forma estandarizada la curva cifótica. Para ello, primeramente se identifican las últimas vértebras que están inclinadas hacia el interior de la concavidad de la curva cifótica, es decir, las vértebras extremas del arco cifótico. El ángulo cifótico (kw) es el ángulo entre la placa terminal superior de la vértebra craneal de la cifosis, y la placa terminal inferior de la vértebra caudal de la cifosis. Para la medición de la cifosis dorsal, se puede usar el método de Cobb en una radiografía de perfil (Figs. 13 y 14).

La angulación fisiológica de la cifosis dorsal normal varía entre 20 y 40 grados. La medición de la deformidad vertebral cuneiforme (v vv) se efectúa en radiografía lateral, mediante el trazado de líneas a través de los niveles de las dos placas terminales y determinando el ángulo entre ambas líneas con un transportador. El límite entre la deformación cuneiforme anormal y normal parece ser de quinto grado.^{12,29}

Se denomina cifosis dorsal a la exageración de la curvatura normal dorsal fisiológica, que generalmente está compensada por una hiperlordosis lumbar y cervical.²⁹ En algunos casos, esta patología puede evolucionar a lo largo del tiempo desde una cifosis flexible hasta una de tipo rígido.

Se conoce como cifosis flexible o actitud cifótica a aquella cifosis cuyo enderezamiento puede obtenerse por un simple esfuerzo voluntario. No existen deformaciones óseas.



Figura 13. Radiografía lateral (a) y antero-posterior (b) de la columna lumbar.

Respecto a las causas principales de las cifosis flexibles cabe mencionar que la actitud cifótica es inseparable del desequilibrio general de la actitud, sus orígenes son de orden psicomotor. No obstante, ciertas causas ocasionales pueden coadyuvar a la desviación en cifosis, dichas causas son:

- Malos hábitos posturales.
- Actitudes escolares o profesionales.
- Predisposiciones morfogenéticas.
- Deficiencias de orden fisiológico.
- Astenia general habitual u ocasional en el niño.
- Osteoporosis en el anciano.¹¹



Figura 14. Radiografía oblicua de la columna lumbar.

La cifosis rígida o fijada es resultante muchas veces de una actitud cifótica inveterada del adulto y, en particular, del sedentarismo. La ausencia de extensión dorsal conlleva una limitación progresiva de las posibilidades articulares de dicha extensión. Es una cifosis que no se endereza ya con el esfuerzo muscular y, poco más tarde, ni con movilización manual.^{10,13,52}

La cifosis total es en la mayoría de los casos una secuela del raquitismo. Suele aparecer hacia los 2 o 3 años, algo después de las lesiones de los miembros. Sus principales causas son:

- Reblandecimiento óseo y relajamiento de los sistemas ligamentosos y musculares debidos a la distrofia raquítica.
- Alteración raquítica de los discos, en algunas ocasiones.
- Posición sedente demasiado precoz y demasiado prolongada.
- Marcha precoz.

Las dos últimas causas, de orden mecánico, tienen efectos sólo en las columnas debilitadas por el raquitismo. La curvatura es dorsolumbar, regularmente redondeada, encontrándose su cima a nivel de las dos últimas vértebras dorsales. A consecuencia de la posición de la pelvis en retroversión y el descenso del tórax, los abdominales se encuentran acortados.

Este tipo de cifosis es generalmente flexible y desaparece con el crecimiento. No persiste más que en los casos graves o cuando se combina con la escoliosis, en cuyo caso, va adquiriendo rigidez de manera progresiva hasta hacerse rígida. Suele ir acompañada de una lordosis cervical importante y difícil reducción.⁹⁴

Cifosis Lumbar e Inversión Vertebral

La cifosis lumbar es una inversión de la curvatura lumbar fisiológica, y suele ir acompañada de una compensación torácica en lordosis o por lo menos dorso

plano. La inversión real con cifosis lumbar en posición de pie es relativamente rara. En el examen morfológico, se encuentra la piel pigmentada y callosa a nivel de las apófisis espinosas lumbares.

Esta lesión se acentúa cuando se hace sentar al paciente, a consecuencia de la retracción de los músculos isquiotibiales y de los ligamentos que limitan la flexión del muslo sobre la pelvis. Se acompaña de plegamiento del tórax, lo que trae como consecuencia deficiencias respiratorias. Se produce una detención del desarrollo del tórax hacia atrás y, más concretamente, de los ángulos posteriores de las costillas.

Una cifosis lumbar es siempre debida, salvo en los casos de traumatismos directos o de afecciones de la columna lumbar, a un desequilibrio anteroposterior de la pelvis en retroversión. Esta retroversión puede tener diversas causas, como: herencia, posición sedente habitual y prolongada sobre la parte posterior de los isquiones y sacro, retracción de los isquiotibiales, hipotonía, retracción de los abdominales, vida sedentaria y falta de desarrollo muscular, sistema ligamentoso deficiente, decúbito supino prolongado, y, para todas ellas, la predisposición morfogenética del sujeto.^{118,119}

Test exploratorios para la cifosis

De la columna vertebral: El más rápido y eficiente para determinar el grado de movilidad de la actitud cifótica, o de su irreductibilidad (deformación), es la suspensión del individuo de tal forma que el propio peso del cuerpo rectifique las curvas anormales. En caso de no contar con una espaldera, se realiza una tracción, manual o mecánica, para ver el comportamiento de las curvas. Para completar la información, se debe solicitar al paciente que trate de rectificar la espalda con su propio esfuerzo. Ante una actitud cifótica el paciente tiene la suficiente fuerza para corregirlas, cosa que no sucede cuando se trata de una cifosis rígida.¹¹⁰⁻¹¹³

De los omóplatos: La exploración tendrá dos intenciones, por una parte, evaluar la posibilidad de aducción de los mismos y, por otra, determinar el valor del serrato mayor y el romboides, como responsables de las relaciones normales de la escápula con la parrilla costal. Para lo primero, se hace sentar al paciente en una banqueta y se le solicita que, al tiempo que extiende su columna, rote exteriormente los brazos con las manos semicerradas. La rotación externa del humero facilitará la aproximación de los omoplatos a la línea media. La facilidad o dificultad de esta acción nos dará una indicación para programar nuestro trabajo.¹¹⁹

Insuficiencias musculares: La estructura corporal es un problema de equilibrio, el cual se logra a través de la interacción de potencias. La cifosis es un ejemplo claro de ruptura de esa situación.

Lordosis e Hiperlordosis Lumbar

La palabra lordosis proviene del griego que significa curva. La definición de lordosis es una curva sagital del raquis de convexidad anterior. La bipedestación, logro del ser humano en su estado evolutivo, originó en el raquis un enderezamiento y posteriormente una inversión de la curvatura en la región lumbar.

En el embrión humano de 48 días antes de aparecer la calcificación, el raquis presenta una curva de concavidad anterior y no existen curvas lordóticas. Al nacer, y por la acción de extender los músculos, la pelvis se inclina en sentido anterior (anteversión) y se inicia la lordosis lumbar y, posteriormente, la cervical al comenzar a levantar la cabeza. Las curvas fisiológicas del ser humano son adaptaciones a la bipedestación.³⁰

La hiperlordosis o lordosis patológica es la acentuación patológica de la curvatura normal fisiológica; normalmente estas curvas están más acentuadas en

la mujer y pueden presentarse con un cuadro álgido o no, localizado generalmente en la región lumbar. Las causas más frecuentes son:

- Congénita.
- Postural.
- Posquirúrgica y traumática.
- Afecciones neuromusculares y neurológicas.
- Deficiente equilibrio pélvico.
- Otras.

La amplitud de la curvatura raquídea a nivel lumbar está condicionada por el modo de equilibrio general y, particularmente, por el modo de equilibrio pélvico. Dos son las causas principales que pueden inducir a una actitud postural en hiperlordosis:

- La anteversión pélvica: el músculo glúteo es prominente y el vientre queda recogido, predisponiendo a las discopatías L5 S1 y a las espondilolistesis. Además, los glúteos pueden quedar más o menos borrados y el vientre se proyecta de forma tensa hacia delante. Esto predispone a la retrolistesis a nivel de las primeras vértebras lumbares.
- La antepulsión de la pelvis, es decir, su desplazamiento por delante de la línea de gravedad, lo que provoca un rechazo posterior del tronco.³⁷

Las causas o condiciones que pueden favorecer estos modos de equilibrio son las siguientes: la astenia general, habitual u ocasional; el embarazo; y el uso de tacones altos.

La curva lordótica puede presentarse bajo aspectos diferentes:

- Lordosis con acodadura lumbar baja: generalmente remontada por una cifosis torácica de gran arco o en C abierta o, a veces, por una cifosis baja

con aplanamiento dorsal superior. Es más frecuente en las actitudes en arco anterior y la anteversión de la pelvis puede ser relativamente mínima.¹¹²

- Lordosis larga: puede alcanzar en los casos extremos, hasta la 5ª dorsal. Está remontada por una cifosis alta. La anteversión pélvica es entonces muy pronunciada.¹⁰⁹

Entre las lordosis altas podemos distinguir:

- Lordosis con arco regular: es la más frecuente y en ella la flecha se acentúa en el centro de la curvatura.
- Lordosis con arco irregular: presenta bien un aplanamiento lumbar oblicuo hacia delante y una angulación hacia D12, o bien una acodadura baja y un arqueamiento superior muy largo.
- Lordosis media: las curvas cifótica y lordótica están equilibradas y se encuentran especialmente en las actitudes en acordeón.

Dinámica de la columna lordótica

El examen estático no es suficiente para apreciar todas las características de una lordosis, dos curvas de aspecto idéntico en la posición de pie pueden resultar muy diferentes en relación con la flexión anterior.¹¹¹

Podemos distinguir esquemáticamente tres grupos:

- La lordosis rígida que persiste, o al menos no se invierte en la flexión anterior, suele estar compensada dinámicamente por una laxitud coxofemoral importante.
- La lordosis que conserva una anteflexión normal, invirtiéndose en curva cifótica media.

- La lordosis que se invierte fuertemente en flexión, y donde la articulación coxofemoral presenta poca amplitud de flexión.

Como era de esperar la articulación coxofemoral se ve afectada estática y dinámicamente en los casos de hiperlordosis, de tal forma que cierto número de lordosis se acompañan de anteversión. La anteversión, en posición de pie, es una basculación pélvica hacia delante sobre el eje de las coxofemorales; desde el punto de vista articular, en la articulación de la cadera, equivale a una flexión del fémur sobre la pelvis. Esta posición en flexión coxofemoral puede fijarse, con el tiempo, por una retracción de los ligamentos anteriores y los músculos flexores (psoas, tensor de la fascia lata, sartorio, aductores). La extensión coxofemoral se encuentra entonces limitada, incluso pasivamente, y la retroversión de la pelvis resulta imposible en posición de pie, aunque la lordosis todavía sea flexible.⁵⁰ Esta fijación sólo se ha visto en adultos.

Evolución de la columna lordótica

La lordosis en general es flexible y corregible en posición sedente. Sin embargo, puede fijarse progresivamente en el adulto y, de forma excepcional, en el niño. La fijación de la curvatura proviene más frecuentemente de la estructura cuneiforme de los discos intervertebrales y de la retracción de los ligamentos posteriores y músculos de los canales lumbares. La forma de cuña de L5 ó L4, congénita o adquirida, no es excepcional. La ensilladura lumbar, ya sea flexible o más o menos rígida, favorece la aparición de algias lumbares y lumbosacras modificando la estática y la dinámica de la región.⁴⁹

Desde el punto de vista estático, la oblicuidad hacia delante de la meseta sacra no permite a la quinta vértebra lumbar apoyarse normalmente sobre el sacro, L5 reposa en falso y el peso del cuerpo, que ella soporta, tiende a impulsarla hacia delante. El peso se encuentra suspendido en su mayor parte sobre las

articulaciones posteriores de L5 por intermedio de los istmos, que pueden estirarse e incluso romperse (espondilolistesis de L5). Los discos se encuentran sometidos a una presión expulsiva continua hacia delante.⁷

Además, el marcado arco lumbar acentúa el pinzamiento de los discos hacia atrás, particularmente los de los dos últimos, sobrecargando su parte posterior. En cuanto a los discos superiores lumbares, tienen que soportar, sobre todo en los casos de antepulsión pélvica con rechazo posterior del tronco, las fuerzas de cizallamiento hacia atrás.⁵⁵

Desde el punto de vista dinámico, la lordosis es flexible, la amplitud del movimiento discal se encuentra aumentada por el hecho de que la vértebra, partiendo de una posición de extensión con gran abertura anterior del espacio intervertebral, debe efectuar también una basculación de gran amplitud, para alcanzar una posición de flexión con cierre de ese espacio. Este es el caso de la lordosis que se invierte en flexión.

Si la lordosis es rígida, raramente lo es de manera uniforme, persistiendo en general una charnela localizada en un solo disco, siendo generalmente L5-S1 el que absorbe todo el movimiento de flexión.

En ambos casos, uno o varios discos, cuya amplitud de movimiento es exagerada, están sometidos a una fatiga que conduce a la aparición de lesiones discales. Estas lesiones podrán aparecer progresivamente por desgaste (lumbalgia crónica) o bien presentarse bruscamente con ocasión de un esfuerzo (lumbago-ciático); el núcleo pulposo, al quedar pinzado hacia atrás, oprimirá el ligamento amarillo, creando una hernia discal posterior.¹⁰⁴

ANATOMÍA APLICADA Y BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA LUMBAR

Biomecánica Osteoarticular

Comúnmente para medir las propiedades físicas de cualquier estructura, en este caso de la columna lumbar, se utilizan gráficos de carga-desplazamiento. La curva obtenida puede ser lineal o no lineal. La curva de carga-desplazamiento de la columna es de tipo no lineal. La columna es flexible a cargas bajas y a deformaciones con cargas crecientes. La pendiente de la línea (elasticidad de la columna) varía con la carga.

Esta conducta no se representa claramente por un solo valor de elasticidad, por lo que se han determinado dos parámetros: el **rango de movimiento** (ROM) y la **zona neutra** (NZ). Esta última es la parte del ROM dentro de la que existe resistencia mínima al movimiento intervertebral (segmento móvil). El segmento de la columna sujeto a cargas de flexión y extensión muestra claramente una curva no lineal de desplazamiento, indicando una relación cambiante entre la carga aplicada y los desplazamientos producidos.

La suma de parámetros de NZ representa la laxitud del segmento de la columna alrededor de la posición neutral (puede haber movimiento en forma importante con una pequeña cantidad de fuerza), y el parámetro ROM describe el comportamiento no lineal de la columna (Fig. 15).⁹⁸

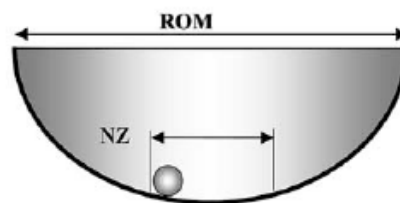


Figura 15. Esquematación de la curva carga-desplazamiento.

Con el propósito de una mejor visualización, la curva carga-desplazamiento puede describirse usando una analogía: una pelota en un cuenco.¹²⁶

La curva carga-desplazamiento se transforma en un cuenco arrojando la parte de la extensión de la curva alrededor del eje del desplazamiento. En este cuenco se coloca una pelota, la cual se mueve fácilmente dentro del NZ, pero requiere un esfuerzo mayor para moverse a las regiones exteriores del ROM. La forma del cuenco indica el grado de estabilidad lumbar, así, un cuenco más profundo es una representación de una columna más estable, mientras, un cuenco poco profundo representa una columna inestable.⁵⁹

Un elemento determinante en la estabilidad de la columna son los discos intervertebrales. Las presiones ejercidas sobre estos son importantes, sobre todo cuanto más se aproximan al sacro, dado que el peso del cuerpo que se soporta aumenta con la altura suprayacente.⁷⁹

En estudios recientes, Panjabi⁹⁸ (2003) encontró significativos los cambios de la columna lumbar ante lesiones del anillo fibroso y el núcleo pulposo. Para ello se analizó la respuesta funcional de la columna antes y después de lesiones del disco en seis momentos: flexión, extensión, rotación axial derecha e izquierda, e inclinación derecha e izquierda.¹⁵²

Se investigaron tres estados del disco: intacto, con lesión del anillo en el lado izquierdo, y después del levantamiento del núcleo. El gráfico de barras (Fig. 16) muestra los movimientos principales para el disco intacto y las dos lesiones frente a cada una de las cargas fisiológicas.

La lesión del disco con el levantamiento del núcleo produjo cambios mayores que la lesión del anillo exclusivamente. Los cambios absolutos máximos fueron observados en la flexión e inclinación lateral izquierda. En los cambios de porcentaje, la rotación axial describió el mayor efecto de la lesión del disco.¹¹⁸

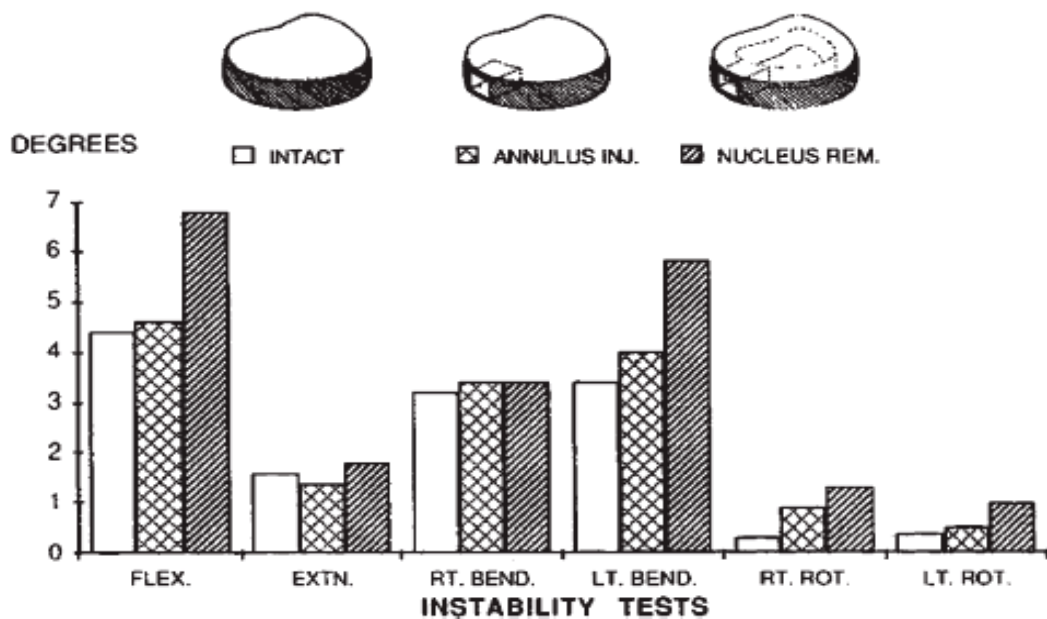


Figura 16. Resultados de los test de inestabilidad.

Otro elemento importante en la estabilidad de la columna son las articulaciones facetarias, las cuales limitan el movimiento segmentario directo y tienen una función de soporte de carga. La distribución de cargas entre las facetas y los discos varía con la posición de la columna. En la región lumbar, las facetas se orientan con ángulos rectos al plano transversal, y con un ángulo de 45° respecto al plano frontal. Este alineamiento permite la flexión, extensión e inclinación lateral, limitando la rotación axial.⁸⁵

Debido a que las facetas no son una estructura de soporte primario en extensión, si se produce el compromiso total de estas articulaciones, se establece una vía de carga alternativa. Esta vía implica la transferencia de cargas axiales al anillo y al ligamento longitudinal anterior como un modo de soporte para la columna. Esto puede llegar a generar una sobrecarga para el anillo produciendo inestabilidad de la columna.

Los ligamentos desempeñan un papel pasivo en la estabilidad de la columna; básicamente cumplen una función de transductores, inervados por gran cantidad de mecanorreceptores que entregan información sobre el movimiento. Las estructuras ligamentosas que rodean a la columna contribuyen a su estabilidad intrínseca. Todos los ligamentos de la columna, a excepción del ligamento amarillo, tienen un alto contenido de colágeno, lo que limita su extensibilidad durante el movimiento de la columna.⁷⁹

La cantidad de deformación sobre los distintos ligamentos difiere con el tipo de movimiento de la columna. Durante la flexión, los ligamentos interespinosos se ven sometidos a una deformación máxima, seguido de los ligamentos capsulares y del ligamento amarillo (más rico en elastina). Durante la extensión, el ligamento longitudinal anterior soporta la deformación máxima. Durante la inclinación lateral, el ligamento transversal colateral soporta las elevaciones más acentuadas, seguido del ligamento amarillo y de los ligamentos capsulares. Los ligamentos capsulares de las articulaciones facetarias soportan la mayoría de la deformación durante la rotación.^{54,796}

Una lesión de algún ligamento, como la condensación axial, afecta multidireccionalmente la estabilidad de la columna lumbar, aumentando el NZ a una magnitud mayor que el ROM.

El Papel de la Musculatura Lumbar

La importancia de los músculos estabilizadores de la columna lumbar es bastante obvia. Cuando se observa un corte transversal del cuerpo humano a nivel lumbar, se aprecia no solo el área de sección transversal de los numerosos músculos que rodean a la columna lumbar, mucho más grande que el área de la columna en sí, sino que los músculos tienen una palanca mucho más grande que el disco intervertebral (DIV) y los ligamentos.¹⁰⁸

Los músculos proporcionan estabilidad mecánica a la columna lumbar. El papel estabilizador de los músculos de la columna no puede ser fácilmente estudiado por medio de la electromiografía (EMG). Las EMG que graban un músculo indican la actividad eléctrica del músculo, pero no son una medida cuantitativa de la fuerza muscular. Debido a estas dificultades para medir las fuerzas musculares, se han seguido dos acercamientos: primero, en modelos *in vitro* se han diseñado fuerzas para simular los efectos musculares; segundo, han sido desarrollados modelos matemáticos para simular la columna rodeada de musculatura espinal.⁹⁹

Panjabi⁹⁸ ha desarrollado estudios en los que demuestra que las lesiones musculares aumentan el NZ y el ROM; en lesiones más severas, la fuerza muscular disminuye el NZ a sus valores iniciales, mientras que el ROM permanece significativamente más grande que el inicial. Esto probablemente indica que esta conducta diferencial de NZ y ROM se debe a que la fuerza de los músculos estabilizadores de la columna lumbar actúa sobre todo para disminuir el NZ.¹⁵²

Se han clasificado los músculos lumbares y abdominales de acuerdo a su función estabilizadora en dos grupos, como se puede apreciar en la Tabla 2.

El Sistema Estabilizador Local incluye los músculos profundos, al igual que las porciones profundas de algunos músculos que tengan su inserción en las vértebras lumbares. Estos músculos son capaces de controlar la relación intervertebral de los segmentos espinales y de la postura de la columna lumbar. Un buen ejemplo es el multifido, que es un músculo multisegmental. Debido a su pequeñez, los músculos intersegmentales, tales como el intertransverso e interespinoso no son capaces de estabilizar la posición intersegmental de cada vértebra; sin embargo, tienen un papel propioceptivo importante, ya que unen el SNC con la columna lumbar.

Tabla 2. Músculos estabilizadores de la columna lumbar.

Sistema Estabilizador Local	Sistema Estabilizador Global
Intertransverso	Longísimo del tórax (porción torácica)
Interespinoso	Intercostales (porción torácica)
Multífido	Cuadrado lumbar (fibras laterales)
Longísimo del Tórax (porción lumbar)	Recto abdominal
Iliocostal Lumbar	Oblicuo externo
Cuadrado Lumbar (fibras mediales)	Oblicuo interno
Transverso Abdominal	
Oblicuo Interno	

Dentro del grupo abdominal se encuentra el transverso abdominal, que es el músculo más profundo. Éste presenta una inserción directa a las vértebras lumbares a través de la fascia toraco-lumbar. Otro músculo abdominal considerado como parte del sistema local es el oblicuo interno, el cual se inserta de igual manera a la fascia toraco-lumbar.⁷⁹

El Sistema Estabilizador Global incluye los músculos largos, superficiales del tronco. La función de éstos músculos no sólo es la de realizar los movimientos globales de la columna (flexión, extensión, rotación, etc.), sino que también son responsables de transferir la carga directamente entre la caja torácica y la pelvis. Es decir, deben equilibrar las cargas externas ejercidas sobre el tronco de tal forma que las fuerzas residuales que se transmitan a la columna lumbar puedan ser "manejadas" por los músculos del sistema local.

En definitiva, las grandes variaciones en las cargas externas que se presentan en las actividades básicas cotidianas pueden ser acomodadas por los músculos globales para que la carga resultante en la columna lumbar y sus segmentos sea mínima. De este modo, las variaciones en la carga se mantienen pequeñas y viables para el sistema local.

En años recientes, ha existido un interés en el estudio de la relación del sistema local como factor etiológico en el dolor crónico de columna lumbar.¹¹¹

La Unidad de Control Nervioso

Tanto los estabilizadores pasivos como los estabilizadores activos están comandados por el centro de integración del sistema nervioso central (SNC). El sistema propioceptivo integra al sistema estabilizador de Panjabi.⁹⁸

El sistema somatosensorial informa, mediante sus receptores distribuidos por todo el organismo, sobre la posición y el movimiento de las partes del cuerpo entre sí y en relación a su base de soporte. Esta información es muy precisa sobre los movimientos rápidos, como por ejemplo las modificaciones bruscas de la posición de las articulaciones en respuesta a perturbaciones de la superficie de soporte de los pies. Estas informaciones contribuyen a mantener el tono muscular y desencadenan la mayor parte de los reflejos somáticos que mantienen el equilibrio.

La información propioceptiva nace en los músculos y en las piezas que ellos movilizan. Sus receptores son:

- Los husos neuromusculares: tienen una función sensitiva, informando de la longitud del músculo, y una función motora, al ser los mantenedores del tono muscular.⁵⁴

- Los receptores tendinosos de Golgi: están situados en la unión musculotendinosa, se estimulan por el alargamiento pasivo de las fibras musculares o por la contracción activa, son los captosres del reflejo tendinoso.
- Los corpúsculos articulares de Ruffini: situados en las inserciones capsuloligamentarias y en el periostio, proporcionan información sobre la posición articular, la dirección y velocidad del movimiento.
- Las terminaciones articulares de Golgi: se encuentran diseminadas a lo largo de los músculos, ligamentos, articulaciones y periostio.

La información propioceptiva tiene por igual características reflejas y conscientes:

- Inconsciente refleja: está constituida por los circuitos propioceptivos intramedulares y supramedulares inconscientes.
- Consciente: aportan información consciente sobre la actitud corporal y los movimientos. No es necesario el concurso de la vista para que en un determinado momento tengamos consciencia de la actitud postural adoptada por uno de nuestros miembros en relación con el resto del organismo; tampoco es necesaria para conocer los desplazamientos segmentarios que realizamos, su amplitud, y su velocidad. Es decir que el propioceptivo es un sistema de información muy eficaz en este sentido y nos da idea, por sí mismo, de la situación de las distintas partes de nuestro cuerpo y de los diferentes movimientos que realizamos tanto cualitativa como cuantitativamente. Un fallo en esta información, asociado a un fallo visual, es incompatible con la posición ortostática.⁷⁹

Es imprescindible para el mantenimiento del equilibrio y su anulación hace prácticamente imposible su mantenimiento. La información de los propioceptores

lumbares es necesaria para que los músculos extensores de las extremidades inferiores realicen su función anticipatoria durante la marcha.⁵⁴

Teoría de la Inestabilidad y del Dolor Crónico

Basado en la definición de inestabilidad clínica de la columna presentada anteriormente, la teoría de la inestabilidad asume una relación entre el movimiento intervertebral anormal y el dolor de espalda crónico. De forma que una disminución en el movimiento intervertebral de un paciente con dolor de espalda crónico puede reducir el dolor producido. De hecho, ésta es la base para los tratamientos que involucran la fusión quirúrgica, fortalecimiento de los músculos y entrenamiento del control neuromuscular.⁹³

Usando nuevamente una analogía de la curva carga-desplazamiento (pelota en un cuenco), la estabilidad (libre de dolor), inestabilidad (doloroso) y reestabilización de la columna (libre de dolor) puede representarse de la siguiente manera (Fig. 17).

Una persona sin dolor de columna tiene unos valores NZ y ROM normales.^{97,152} La pelota se mueve libremente dentro de la zona libre (Fig. 17A). Cuando ocurre una lesión, el componente de la columna lumbar, como el ligamento capsular, puede dañarse y hay dolor. El movimiento anormal puede ocurrir también debido a los cambios degenerativos.

En cualquier caso, NZ aumenta y la pelota se mueve libremente encima de una distancia más grande, más allá de la zona neutra (Fig. 17B). El sistema estabilizador de la columna reacciona para disminuir activamente el NZ vía activación de los músculos o por el endurecimiento adaptable de la columna lumbar con el tiempo (Fig. 17C). El sistema también puede estabilizarse por la fusión quirúrgica, el fortalecimiento muscular y el reentrenamiento del sistema de

control neuromuscular. En la analogía, la pelota es ahora anclada, y la columna está de nuevo libre de dolor.⁹³

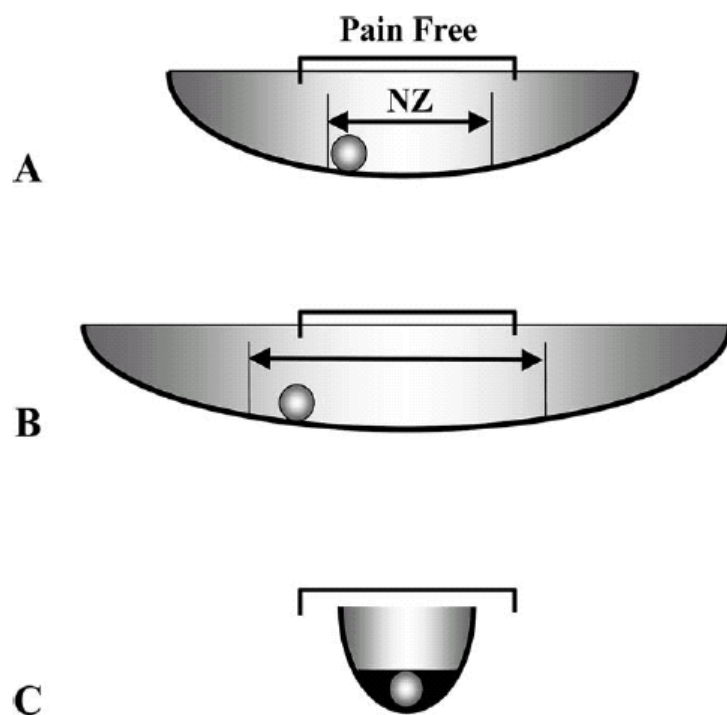


Figura 17. Esquema de la curva carga-desplazamiento en la estabilización.⁹³

LUMBALGIA

La lumbalgia es una enfermedad autolimitada; aproximadamente el 40% de los episodios remiten en una semana, del 60 al 85% en tres semanas, y el 90% en dos meses; sin embargo, tiene una elevada probabilidad de recurrencia. La causa es indeterminada en la mayoría de los pacientes.¹⁴

Tipos de Dolor

Dolor Lumbar Agudo

Los episodios de dolor lumbar son comunes en la población y, por definición, comprenden un dolor de menos de tres meses de duración. En muy pocos casos se trata de una patología peligrosa, generalmente el dolor no es específico, y el

diagnóstico preciso no se puede realizar o no es necesario. Si el dolor se irradia hacia la pierna o distal a la rodilla, existe una gran probabilidad de que los síntomas sean ocasionados por una hernia de disco.

Los síntomas que caracterizan el dolor lumbar son el dolor agudo y el aumento del tono muscular o rigidez. Este dolor comprende el segmento lumbar con o sin dolor en los glúteos y las piernas; en general es difícil de localizar. El dolor agudo se puede tipificar como dolor lumbar simple (95% de los casos), causado por compresión radicular o de una raíz nerviosa (< 5% de los casos), o secundario a una patología espinal severa (< 2% de los casos). Otra clasificación propuesta para el dolor se basa en la duración de los síntomas, a saber: dolor agudo (≤ 6 semanas), dolor subagudo (6-12 semanas) y dolor crónico (≥ 12 semanas).¹⁴

Dolor lumbar simple: (95% de los casos) usualmente se presenta en pacientes entre los 20-55 años, es un dolor mecánico en el área lumbosacra, glúteos y piernas. En general el paciente no presenta otros datos agregados.

Dolor por compresión radicular: (< 5% de los casos) es un dolor usualmente unilateral irradiado a la pierna, de mayor severidad que el dolor lumbar simple, se irradia por debajo de la rodilla con sensación de adormecimiento y parestesias. Presenta signos neurológicos positivos.

Patología espinal severa: (< 2% de los casos) debe ser considerada en aquellos pacientes con historia de trauma previo, o en aquellos pacientes con edad ≤ 20 o ≥ 50 años. Existe una variedad de signos de alarma, como el dolor gradual no relacionado a la actividad física, rigidez matutina o limitación funcional en todas las direcciones.^{66,128}

Dolor Lumbar Crónico

El dolor lumbar crónico se define por una duración superior a tres meses, y puede causar incapacidades severas, y asociarse con signos de precaución (*yellow flags*) o barreras psicosociales para la recuperación. El regreso a la actividad física normal se reduce rápidamente en aquellos pacientes que presentan síntomas durante más de ocho semanas.¹⁴⁹ Las principales causas la referimos a continuación:

- Causas degenerativas.
- Cambios estructurales (estenosis espinal).
- Cambios inflamatorios (espondilitis anquilosante, artritis reumatoide).
- Infecciones (pielonefritis, osteomielitis bacteriana o tuberculosa, absceso epidural, etc).
- Neoplasias (mieloma múltiple, linfoma, metástasis secundaria).
- Enfermedades metabólicas del hueso (colapso por osteoporosis, osteomalacia, enfermedad de Paget).
- Otras (problemas ginecológicos, claudicación vascular).¹²⁸

Epidemiología de la Lumbalgia

En México la lumbalgia es la principal causa de ausencia laboral.¹⁴¹ En el resto del mundo, se estima una prevalencia del 6,8% en América del Norte, 12% en Suecia, 13,7% en Dinamarca, 14% en el Reino Unido, 28,4% en Canadá, y 33% en Bélgica.^{33,66,71,143} Estos datos de prevalencia ponen de manifiesto una gran variabilidad atribuible, en proporción desconocida, a diferencias de muestreo. En una revisión de los datos de prevalencia mundial, Volinn (1997)¹⁴³ sugiere que hay menores tasas de prevalencia en los países en desarrollo que en los países desarrollados, pero no determina si reflejan diferencias demográficas, culturales o de metodología de investigación.

Walker (2000)¹⁴⁶ realizó una revisión sistemática de la literatura australiana sobre la prevalencia de la lumbalgia entre 1966-1998, y también llegó a la conclusión de que la verdadera prevalencia de dolor lumbar en Australia sigue confundida por fallos metodológicos en los estudios anteriores.^{146,147} El estudio retrospectivo de un año de duración sugiere que el dolor lumbar es común en la población australiana, cuatro de cada cinco adultos experimentan dolor lumbar a lo largo de su vida y, aproximadamente, uno de cada 12 vive un nuevo episodio de dolor lumbar durante un período de 12 meses.

Las diferencias entre la prevalencia puntual y a los seis meses de dolor lumbar en los estudios de Walker *et al.*^{146,147} se refleja también en otros estudios epidemiológicos,⁶⁵ y, probablemente, refleja la fluctuación y la naturaleza de la mayoría de los episodios de dolor lumbar. En esta revisión no parecen encontrarse pruebas de diferencias de género en la prevalencia del dolor lumbar en la muestra de adultos de EE.UU., Canadá, países nórdicos⁷⁵ y Australia.^{40,100}

La prevalencia de dolor lumbar en los niños es baja (1-6%),⁴⁰ pero aumenta rápidamente (18-50%) en la población adolescente.^{40,67} La prevalencia de dolor lumbar muestra picos hacia el final de la sexta década de vida. Por ejemplo, en un estudio prospectivo de 12 meses de 4501 adultos en el Sur de la región de Manchester, Reino Unido, se encontró que la distribución por edad del dolor lumbar era unimodal, con el pico de prevalencia en edades comprendidas entre 45 y 59 años.⁶⁵

Aunque el tratamiento y la compensación del coste de las lumbalgias se han incrementado notablemente en los tres últimos decenios,^{40,145} esto puede ser más el producto de la gestión de los casos y las actitudes culturales en relación con la responsabilidad y la indemnización, pero también podría deberse a los cambios en la prevalencia del dolor lumbar o de limitación de la actividad.

No hay ningún argumento biológico convincente que justifique el aumento de la prevalencia de dolor lumbar. Las tasas de prevalencia, si se utilizan métodos anuales, no han mostrado ningún cambio en una población de los países nórdicos durante un período de 15 años.⁶⁷ También hay pruebas de que la reclamación de las tasas para la lumbalgia parece estar disminuyendo en EE.UU.,^{86,143} aunque la relación de ésta con las tasas de prevalencia no es clara.

La lumbalgia es una de las razones más frecuentes de consulta médica y se asocia a desórdenes tales como fracturas, dislocaciones, enfermedades degenerativas, tumores y enfermedades posicionales. Estos padecimientos afectan a ciertos elementos de las vértebras lumbares o implican al, así llamado, "segmento móvil" de la columna lumbar,³² que incluye los discos intervertebrales, las articulaciones intervertebrales, el foramen intervertebral y los ligamentos comunes, amarillos, interespinales y supraespinales.^{127,137}

En este momento el tratamiento de estas enfermedades puede ser quirúrgico o médico.¹²² Para el tratamiento quirúrgico se han desarrollado platos, anclas y varas fijados por tornillos transpediculares^{131,155} que son colocados por un abordaje quirúrgico posterior.¹⁵³ La fusión vertebral es uno de los tratamientos más usados en este tipo de enfermedad.^{36,68,139,153}

ANTROPOMETRÍA VERTEBRAL LUMBAR

Las medidas antropométricas de los elementos vertebrales lumbares han sido de interés desde hace tiempo, como lo demuestra el trabajo clásico *"Etude anatomique des pedicules vertebraux. Application chirurgicale"* en 1976 (Saillant G.,¹²¹ citado por Alfonso Olmos *et al.*⁴) con la finalidad de introducir tornillos transpediculares.^{23,46,129} La antropometría vertebral lumbar es útil para el desarrollo de prótesis y cirugía robótica, así como para ejecutar procedimientos

quirúrgicos.¹⁵³ Por esta razón es necesario conocer en detalle las características anatómicas de las vértebras lumbares.¹⁷

El tamaño pedicular lumbar difiere entre las distintas etnias y razas, como lo demuestran los estudios hechos en: India, Corea, Grecia, Malasia, Japón, Brasil y España.^{19,253,58,69,82,92,95,142} De otra parte, las características de los cuerpos vertebrales, pedículos, láminas y procesos articulares, las dimensiones del canal medular^{56,78} y los ángulos de lordosis lumbar³⁵ son de importancia particular.⁴⁸

La relevancia de la medida de los cuerpos vertebrales radica en que proporcionan información sobre posibles fracturas asintomáticas por osteoporosis;^{62,150} además, son los sitios donde los tornillos adquieren más fijación durante la fusión lumbar.^{20,28,41}

Las medidas del diámetro transversal superior (UVW) y la anchura inferior (LVW) del cuerpo vertebral, así como el diámetro anteroposterior de las superficies superior (UVD), e inferior (LVD) del cuerpo vertebral son frecuentemente usadas para el posicionamiento en la unión de hueso en pacientes sometidos a discectomía; se hace este procedimiento con la confianza de no invadir el canal vertebral en esa área^{84,126} cuando se realiza fusión vertebral posterior.⁵³

Saber las medidas de los pedículos es fundamental para evitar fractura o invasión del canal vertebral durante el paso del tornillo.^{57,87} Los tornillos usados (aceptados por la FDA)⁸¹ para la técnica de fusión lumbar por abordaje posterior miden de 5-10 mm.^{25,26,36}

El conocimiento del tamaño de la lámina vertebral es útil en cirugía de descompresión del canal medular con fusión lumbar.⁵¹ Las dimensiones de la lámina usada en procedimientos quirúrgicos de mínima invasión proporcionan

orientación quirúrgica⁵⁷ para evitar una laminectomía extensa y, con ello, la inestabilidad segmentaria de la columna.^{48,63}

Las facetas articulares son las partes anatómicas que subsiguientemente sufren cambios en la biomecánica de la columna después de cirugía de fusión lumbar,²⁴ por lo que deben tomarse en cuenta sus dimensiones y ángulos ya que son importantes durante la evolución postoperatoria.⁹¹

Las dimensiones del canal vertebral son importantes sobre todo en la cirugía de descompresión de los elementos nerviosos.⁵⁶ Actualmente, en la cirugía endoscópica de mínima invasión, donde las dimensiones exactas del foramen vertebral constituyen una información muy valiosa,⁷² se han desarrollado técnicas para no dañar la duramadre y los elementos nerviosos que contienen.⁴⁸

Los ángulos de lordosis son de vital importancia durante la evolución postoperatoria en pacientes sometidos a fusión lumbar, puesto que en estos tipos de procedimientos quirúrgicos la biomecánica de la columna se modifica en el nivel de la fusión o los niveles adyacentes a ésta.⁴⁴

Para el estudio de las características anatómicas de las vértebras lumbares se han utilizado métodos diversos: mediciones directas en vértebras de un cadáver y mediciones por estudios de imagen (radiografía y tomografía computarizada). Es necesario considerar las variaciones de estas medidas según sexo, edad y raza,²⁵ porque van a condicionar la cirugía. En nuestro caso, el mejor conocimiento de todas estas medidas en la población mexicana, no puede sino redundar en la mejora del tratamiento de estas patologías.

Mediciones de las Vértebras Lumbares en Cadáveres

En el estudio hecho por Christodoulou *et al.*²⁵ (2005) en la población griega, se determinaron la anchura y altura de los pedículos por medición directa de 16

cadáveres, ocho masculinos y ocho femeninos, con una edad promedio de 67,2 años (rango 59-84). Se utilizó un calibrador electrónico Vernier para las mediciones, demostrando mediciones reales.²⁵

Las medidas realizadas fueron las siguientes:

1. (DTE) Diámetro transversal de ambas corticales externas de los pedículos (Fig. 18).
2. (DSIE) Longitud superior-inferior del pedículo de la cortical externa (Fig. 18).
3. (DTI) Diámetro transversal de ambas corticales internas después de realizar la osteotomía de los pedículos (Fig. 18).

Encontraron los resultados que se muestran a continuación (Tabla 3): incremento de los diámetros transversos interno y externo cuando se realizan mediciones de vértebras inferiores, con un diámetro existente en L1, L2 y L3 que origina un riesgo quirúrgico debido a que el diámetro más pequeño de un tornillo transpedicular es de 5mm.^{25,26,36}

Tabla 3. Resultados del estudio realizado por Christodoulou *et al.* en 2005.²⁵

Mediciones	L1	L2	L3	L4	L5
DTE	8	9	10	12	13
DSIE	16	15	14	14	14
DTI	7	7	7	8	9

L3 - L5: vértebras lumbares 3 a 5. DTE: diámetro transversal de ambas corticales externas de los pedículos. DSIE: Longitud superior-inferior del pedículo de la cortical externa. DTI: Diámetro transversal de ambas corticales internas después de realizar la osteotomía de los pedículos.

La longitud superior-inferior mostró una disminución en las mediciones cuando se realizan en vértebras lumbares inferiores, pero las longitudes se pueden considerar seguras cuando la relación con la longitud de los tornillos transpediculares para la fusión vertebral es ancha.^{25,26,36,154}

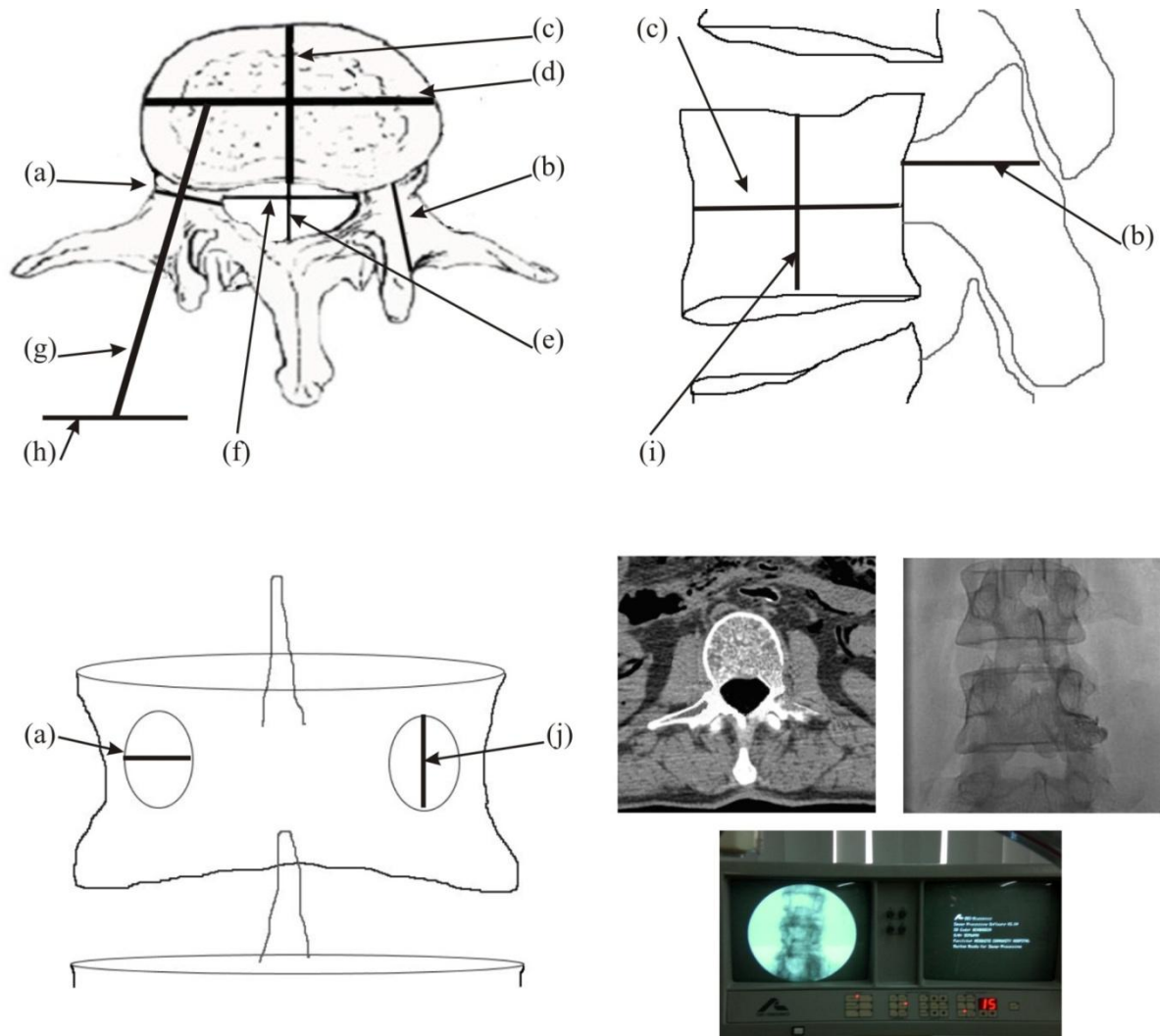


Figura 18. Imagen representativa de las mediciones realizadas en los diferentes trabajos que se explican en el texto (Urrutia Vega *et al.*¹⁴²). **(a)** Anchura pedicular. **(b)** Longitud Pedicular. **(c)** Diámetro antero-posterior del cuerpo vertebral. **(d)** Diámetro transversal del cuerpo vertebral. **(e)** Diámetro antero-posterior del canal espinal. **(f)** Diámetro transversal del canal espinal. **(g)** Vector 1. **(h)** Piel. **(i)** Altura del cuerpo vertebral. **(j)** Altura del pedículo.

Mediciones de las Vértebras Lumbares Mediante Rayos-X y en Cadáveres

Leiviska L *et al.* (1985)⁶⁸ y Vostrejs y Ozuna (1999)¹⁴⁴ estudiaron la columna lumbar (L3-L5) utilizando dos métodos: radiográficos y cadavéricos. Emplearon cadáveres masculinos para mediciones radiográficas (n=132) y posteriormente mediciones directas de vértebras cadavéricas (n= 80). Para la obtención de medidas, se realizaron proyecciones anteroposterior y lateral de la columna, y se usó un calibrador Vernier. El rango de edad de los cadáveres era de 26-65 años.⁶⁸

En todas las muestras se determinaron las longitudes de los pedículos, importante en la aplicación de tornillos transpediculares en el abordaje posterior de las técnicas quirúrgicas de fusión vertebral.^{1,89,144}

En este estudio se observó una disminución de la longitud del pedículo de un nivel vertebral a otro (L3-L5), y no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones hechas en cadáveres o por rayos-X (Tabla 4). La determinación de la longitud media del pedículo (Tabla 5) tampoco mostró diferencias (Fig. 18).

Tabla 4. Mediciones de la longitud del pedículo por rayos-X. Resultados del estudio de Vostrejs y Ozuna en 1999.¹⁴⁴

Nivel vertebral	Longitud del pedículo (PL)			
	Cadáver		Rayos- X	
	Medida mínima (mm)	Medida máxima (mm)	Medida mínima (mm)	Medida máxima (mm)
L3	7	17	8	18
L4	7	16	7	17
L5	5	17	7	14

L3, L4 y L5: vértebras lumbares 3, 4 y 5.

Tabla 5. Mediciones de la longitud media del pedículo. Resultados del estudio de Vostrejs y Ozuna en 1999.¹⁴⁴

Nivel vertebral	Longitud del pedículo (PL)			
	Cadáver		Rayos- X	
	Medida mínima (mm)	Medida máxima (mm)	Medida mínima (mm)	Medida máxima (mm)
L3	13	23	16	32
L4	13	25	17	25
L5	13	31	17	27

L3, L4 y L5: vértebras lumbares 3, 4 y 5.

Establecer el rango de longitud de estas mediciones es de considerable importancia debido a que existe una amplia gama de valores entre unas columnas y otras; sin embargo, al introducir un tornillo transpedicular no se pueden sobrepasar los límites del cuerpo vertebral para no dañar estructuras intrabdominales. Por esta razón, los estudios preoperatorios son principalmente biomecánicos y radiológicos.^{8,151}

Otra medición interesante realizada por Arnold *et al.*,⁸ en 2009, fue la distancia interpedicular (IPD), determinada desde el límite interno de un pedículo hasta el límite interno del otro en la misma vértebra. Este autor obtuvo un rango de longitud de 27.3 a 32.9 mm en los niveles vertebrales de L3 a L5, establecido por radiografía simple (Figura 18). El análisis de las columnas vertebrales de cadáveres comparado con el establecido por la radiografía simple se muestra en la Tabla 6.

El establecimiento de estas medidas es importante para la designación del punto de fijación de los tornillos transpediculares en una dirección satisfactoria a través de ellos para fijar el cuerpo vertebral.⁵⁷

Tabla 6. Resultados del estudio de Arnold *et al.* en 2009.⁸

Nivel vertebral	Distancia Interpedicular (IPD)			
	Cadáver		Rayos- X	
	Medida mínima (mm)	Medida máxima (mm)	Medida mínima (mm)	Medida máxima (mm)
L3	21	29	23	32
L4	20	30	24	34
L5	21	37	25	40

L3, L4 y L5: vértebras lumbares 3, 4 y 5.

Mediciones de las Vértebras Lumbares Mediante Rayos-X y Tomografía Computarizada

Saengnipanthkul y Narakol¹²⁰ (2001), en un estudio comparativo, usaron radiografías simples, en proyección anteroposterior, y tomografías computarizadas en 35 pacientes para determinar la distancia interpedicular; la edad promedio de la población estudiada fue 48.2 años (Tabla 7).

La comparación de ambos métodos mostró que la radiografía simple minimiza las distancias y la TC muestra medidas reales, motivo que la hace preferible a los rayos-X.¹³⁶

La distancia entre ambos pedículos¹⁰⁵ incrementa si se mide a un nivel más bajo de las vértebras de la columna lumbar (Figura 18), indicando un aumento en la orientación oblicua de los pedículos; esto es importante para la colocación del

punto de inserción de los tornillos transpediculares en la cirugía de la fusión vertebral.⁵⁷

Tabla 7. Mediciones de IPD en radiografía simple anteroposterior (AP) y tomografía axial computarizada (TAC).

Medidas Longitudinales	Método	L1		L2	
		X ± SD cm	Correlación	X ± SD cm	Correlación
MPD	Radiografía AP	2.8 ± 0.3	0.78	2.8 ± 0.3	0.73
	TAC	3.0 ± 0.3		3.0 ± 0.3	
IPD	Radiografía AP	2.1 ± 0.3	0.67	2.1 ± 0.2	0.60
	TAC	2.3 ± 0.3		2.3 ± 0.2	

L1 y L2: vértebras lumbares 1 y 2. IPD: distancia interpedicular entre el límite interior de ambos pedículos. MPD: distancia medio - pedicular, es la distancia entre el punto de intersección de las líneas medio - vertical y medio - horizontal recurriendo al punto medio del pedículo de la misma vértebra.

Mediciones de las Vértebras Lumbares por Tomografía Computarizada

La antropometría de las vertebrae lumbares es un estudio relativamente nuevo, Zhou *et al.*¹⁵³ (2012) realizaron un estudio en la población británica con 126 pacientes que presentaban lumbalgia y una variedad de cambios degenerativos del disco intervertebral, durante el período 1994-1996. El estudio comprendió 55 hombres, con una edad promedio de 50 años ($\delta=13.6$), y 71 mujeres, con un promedio de edad de 49 años ($\delta=12$); el rango de edad de los pacientes fue 22-80 años. Los pacientes con anomalías de los cuerpos vertebrales, o una patología que involucraba el canal medular (espolilolisis, retrolisis, hernias del disco

intervertebral), así como aquellos que habían sufrido cirugía de la columna, fueron excluidos del estudio (Tabla 8).

Tabla 8. Medidas de los diferentes elementos de las vértebras lumbares. Resultados del estudio de Zhou *et al.*¹⁵³

Longitud	L3 y espacio L3/L4	L4 espacio L4/L5	L5 y espacio L5/S1	Estatus
PDH	14.5 ± 1.6	14.3 ± 1.5	14.0 ± 2.2	Disminuye
PDW	9.6 ± 2.2	12.1 ± 2.2	16.2 ± 2.8	Aumenta
UVW	43.3 ± 4.3	48.5 ± 4.7	52.2 ± 5.1	Aumenta
UVD	32.3 ± 3.3	34.6 ± 3.6	35.7 ± 3.7	Aumenta
VBha	30.2 ± 2.1	30.1 ± 2.4	30.8 ± 2.5	Aumenta
VBhp	29.6 ± 2.4	28.7 ± 2.3	25.9 ± 2.0	Disminuye
SCW	24.2 ± 3.1	23.6 ± 2.9	28.0 ± 3.9	Irregular
SCD	16.1 ± 2.0	16.7 ± 2.7	17.1 ± 3.4	Aumenta
LVW	51.7 ± 4.8	52.5 ± 4.7	53.1 ± 6.0	Aumenta
LVD	35.3 ± 3.6	36.2 ± 3.7	36.0 ± 4.0	Irregular

PDH: altura del pedículo, PDW: anchura del pedículo, UVW: anchura o diámetro transversal superior del cuerpo vertebral, UVD: diámetro antero-posterior de la superficie superior del cuerpo vertebral, VBha: altura anterior del cuerpo vertebral, VBhp: altura posterior del cuerpo vertebral, SCW: anchura o diámetro transversal del canal medular, SCD: diámetro del canal medular o longitud antero-posterior, LVW: anchura inferior del cuerpo vertebral, LVD: diámetro antero-posterior de la superficie inferior del cuerpo vertebral.

En este estudio las dimensiones de la columna lumbar en L3-L5: longitud superior-inferior (altura) del pedículo (PDH), anchura del pedículo (PDW), cuerpos vertebrales y canal vertebral (Figura 18), se realizaron por tomografía

computarizada. En general, cuando se desciende a niveles vertebrales más bajos, se observó disminución de la altura del pedículo (PDH), la anchura del pedículo (PDW) y las longitudes anteriores y posteriores de los cuerpos vertebrales; mientras que se apreció incremento del diámetro transversal de los cuerpos vertebrales y del canal vertebral (Tabla 8).

Más recientemente, Acharya *et al.*,² en 2010, realizan un estudio prospectivo en la población de la India, basado en mediciones con TAC y llegan a la conclusión de la existencia de diferencias significativas entre la morfometría de los pedículos de esta población y otros referidos en poblaciones de raza blanca.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

HIPÓTESIS

Los tornillos transpediculares para las vértebras lumbares, que se distribuyen en el mercado, pueden no ser adecuados a los pacientes mexicanos, ya que el diámetro en anchura de los pedículos de esta población varía significativamente con respecto a la media internacional estándar.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar con exactitud las dimensiones del pedículo vertebral en la población mexicana por su importancia en cirugía de fusión lumbar transpedicular.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Primero.** Medir la anchura, longitud y altura de los pedículos de la columna vertebral lumbar en 30 cadáveres de la población mexicana, con un rango de edad de 18 a 70 años, mediante antropometría directa con el calibrador Vernier.
- Segundo.** Determinar la anchura, longitud y altura de los pedículos de la columna vertebral lumbar en 30 pacientes de la población mexicana, con un rango de edad de 25 a 80 años, mediante técnicas de imagen sobre TACs.
- Tercero.** Analizar si existen diferencias en las medidas del pedículo vertebral realizadas por ambos métodos.
- Cuarto.** Evaluar la idoneidad de los clavos transpediculares existentes en el mercado para su uso en la población mexicana, atendiendo a las dimensiones del pedículo vertebral en dicha población.

MATERIAL Y MÉTODOS

MATERIAL

MATERIAL DEL ESTUDIO EN EL CADÁVER

Diseño

Se realizó un estudio de tipo observacional, descriptivo, transversal y comparativo.

Población de Estudio

Universo: se incluyeron un total de 30 cadáveres de la población mexicana, proporcionados por el Anfiteatro del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González” de Monterrey, Nuevo León, México. El rango de edad osciló entre 18 y 70 años, y todos eran de sexo masculino.

Determinación del tamaño de la muestra: basándonos en la disponibilidad de cadáveres para el estudio, se decidió utilizar un muestreo por conveniencia.

Características de la Población del Estudio

A) Criterios de inclusión:

- Cadáveres donados por el Anfiteatro del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”; los cuales cumplieron las normativas ético legales para la donación, uso y manejo de cuerpos de manera post mortem.
- Ausencia de antecedentes patológicos en columna lumbar tanto congénitas, como adquiridas.

B) Criterios de exclusión:

- Presencia de procedimientos quirúrgicos realizados en la región lumbar.
- Identificación de enfermedades osteodegenerativas.

C) Criterios de eliminación:

- Imposibilidad de llevar a cabo alguno de los métodos de imagen ó la medición directa en el cadáver.

Material de Laboratorio

- Bisturí
- Tijera, punta fina A=110
- Pinza, punta roma A=145
- Escalpelo hoja 35mm A=150
- Escalpelo hoja 45mm A=160
- Tijera de disección A=140
- Pinza de disección A=120
- Aguja de disección A=140
- Lanceta A=140
- Calibrador Vernier (Fig. 19).
- Regla



Figura 19. Calibrador Vernier utilizado para la medición vertebral.

MATERIAL DEL ESTUDIO POR TÉCNICAS DE IMAGEN

Diseño

Se realizó un estudio de tipo observacional, descriptivo, transversal y comparativo.

Población de estudio

Universo: Pacientes de la Consulta Externa de Neurocirugía del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González” de Monterrey, Nuevo León, México, desde Enero hasta Julio de 2012. Se incluyeron un total de 30 Pacientes, con un rango de edad entre 25 y 80 años.

Determinación del tamaño de la muestra: basándonos en la disponibilidad de pacientes para el estudio, se decidió utilizar un muestreo por conveniencia.

Características de la población del estudio

A) Criterios de inclusión:

- Pacientes de la Consulta Externa de Neurocirugía del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”.
- Pacientes atendidos en el período de tiempo de Enero a Julio de 2012.
- Pacientes con lumbalgia o eventos traumáticos.

B) Criterios de exclusión:

- Pacientes con procesos infecciosos.
- Pacientes con procedimientos quirúrgicos previos.

C) Criterios de eliminación:

- Pacientes cuyo estudio no pudo ser concluido por fallos en el sistema.

Material de Laboratorio

Para la realización de este estudio se utilizó el Tomógrafo Axial General Electric VCT Light Speed, Modelo 2009, de 64 cortes con rotación (Fig. 20).



Figura 20. Tomógrafo Axial General Electric VCT Light Speed.

MÉTODOS

MÉTODO DEL ESTUDIO EN EL CADÁVER

Se evaluaron un total de 30 cadáveres (proporcionados por el anfiteatro del Hospital Universitario “José Eleuterio González”) a los cuales se les realizaron mediciones de los pedículos de las vértebras lumbares L1 - L5, mediante antropometría directa. Los resultados fueron capturados en una base diseñada

para tal efecto en el programa IBM Statistic SPSS, versión 21, para su posterior análisis (Figuras 21 y 22).



Figura 21. Técnica de medición vertebral mediante el uso de un calibrador Vernier.



Figura 22. Medición vertebral mediante el uso del calibrador Vernier.

MÉTODO DEL ESTUDIO POR TÉCNICAS DE IMAGEN

Se evaluaron un total de 30 TACs pertenecientes a 30 pacientes de la Consulta Externa de Neurocirugía del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”, desde Enero hasta Julio del 2012, en los que se realizaron las mediciones de los pedículos de las vértebras lumbares L1- L5. Se efectuó análisis tomográfico antero-posterior y axial, con secciones coronal y axial para cada vértebra (Fig. 23). Los resultados fueron capturados en una base diseñada para tal efecto en el programa IBM Statistic SPSS, versión 21, para su posterior análisis.

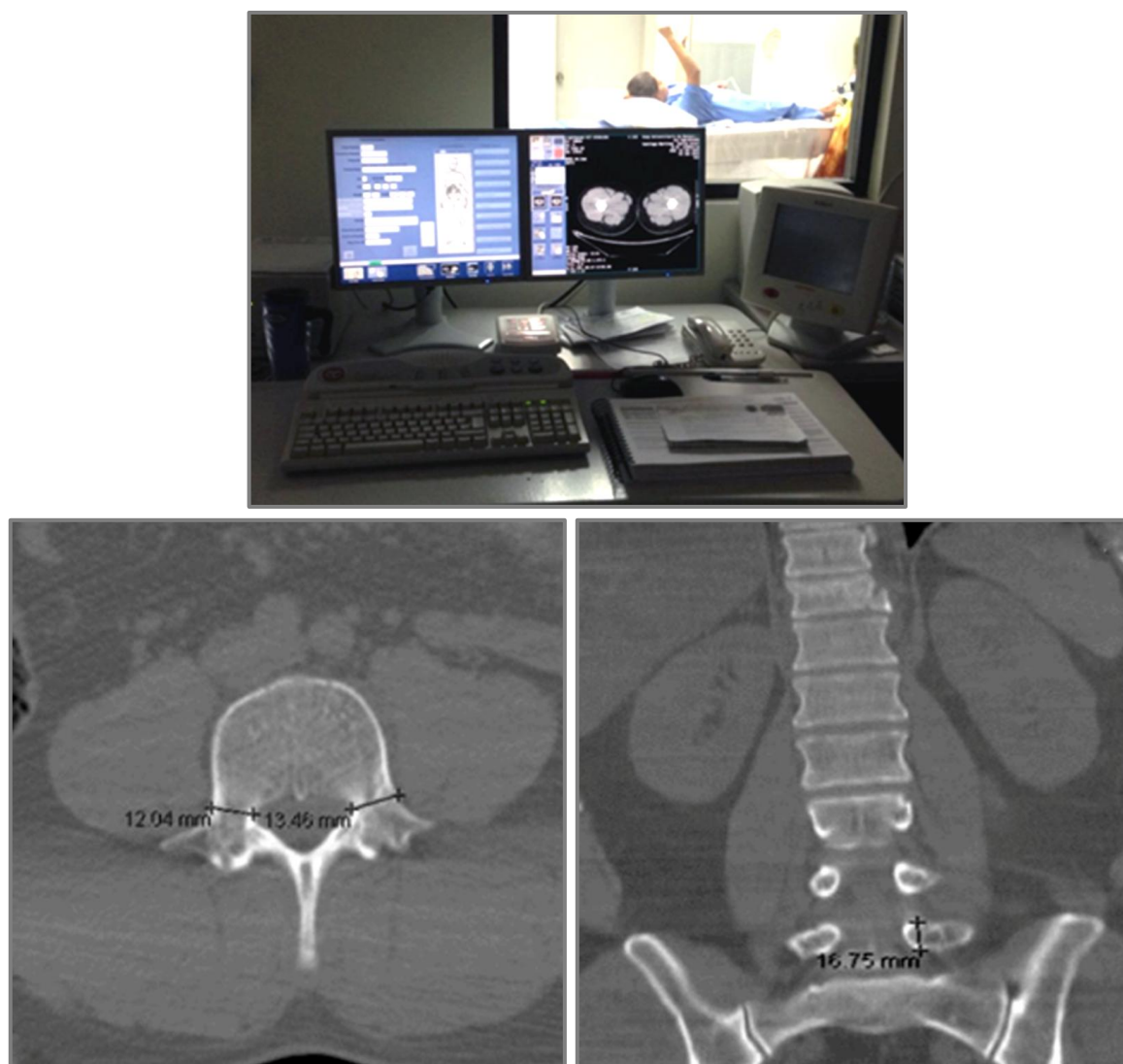


Figura 23. Técnica de medición sobre los TACs. A la izquierda, sección transversal (o axial); a la derecha, sección coronal.

DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA AMBOS TIPOS DE ESTUDIO

En el presente estudio se han definido las siguientes variables (Figs. 24-26).

- **Pedículo vertebral** (Fig. 25):
 - **Anchura pedicular:** distancia entre los bordes medial y lateral del pedículo, medido desde ambas cortezas exteriores (Figs. 18a, 26).
 - **Longitud pedicular:** distancia entre el límite anterior de la faceta articular superior y el límite posterior del cuerpo vertebral (Figs. 18b, 26).
 - **Altura del pedículo:** distancia entre los bordes superior e inferior (Figs. 18j, 26).
- **Cuerpo vertebral** (Fig. 25):
 - **Diámetro antero-posterior del cuerpo vertebral:** distancia en la línea media del cuerpo vertebral desde la cara anterior a la cara posterior (Figs. 18c, 26).
 - **Diámetro transversal del cuerpo vertebral:** distancia entre las dos caras laterales (cortezas externas) del cuerpo vertebral medido en la porción medial del cuerpo. (Figs. 18d, 26).
 - **Altura del cuerpo vertebral:** distancia entre los bordes superior e inferior del cuerpo vertebral en la línea media que corre a través de la cara anterior (Figs. 18i, 26).
- **Apófisis transversas derecha e izquierda** (Fig. 25):
 - **Altura:** distancia entre sus bordes superior e inferior en su punto medio.
 - **Anchura:** distancia entre sus bordes anterior y posterior.
- **Tubérculo o apófisis espinosa** (Fig. 25):
 - **Altura:** distancia entre sus bordes superior e inferior.
 - **Anchura:** distancia entre sus bordes laterales (Fig. 26).

- **Longitud:** Tomada en el borde superior, en la línea media, distancia entre el punto de unión de las dos láminas y el vértice (Fig. 26).
- **Lámina (Fig. 25):**
 - **Altura:** distancia entre los bordes superior e inferior.
 - **Anchura o longitud transversa:** distancia entre el proceso espinoso y el borde lateral del proceso articular superior (Fig. 26).
- **Apófisis articulares superiores (e inferiores) (Fig. 25):**
 - **Altura:** medida desde el borde inferior (o superior) al vértice superior (o inferior) del proceso.
 - **Anchura:** longitud del diámetro transversal del proceso (Fig. 26).

En el estudio por técnicas de imagen (TACs) se han determinado los siguientes parámetros sobre el pedículo vertebral:

- **Pedículo vertebral (TACs):**
 - **Diámetro antero-posterior:** medido sobre las secciones transversales (o axiales), corresponde a la **longitud pedicular** determinada en el cadáver.
 - **Diámetro axial:** medido sobre las secciones transversales (o axiales), corresponde a la **anchura pedicular** determinada en el cadáver (Fig. 23).
 - **Altura del pedículo:** medida sobre las secciones coronales, corresponde a la **altura pedicular** determinada en el cadáver (Fig. 23).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos fueron recabados en una base de datos desarrollada en programa SPSS 21 para su posterior análisis en el mismo software. Se obtuvieron, de todas las variables evaluadas, los estadísticos descriptivos

tradicionales: medidas de tendencia central (media, mediana y moda), medidas de dispersión (varianza, desviación estándar y coeficiente de variación) y medidas de posición (cuartiles, quintiles y deciles) en el caso de variables cuantitativas; en las variables de tipo cualitativo, se determinó la frecuencia. La comparación de variables se realizó con pruebas de hipótesis mediante *t* de Student, con un intervalo de confianza del 95%.

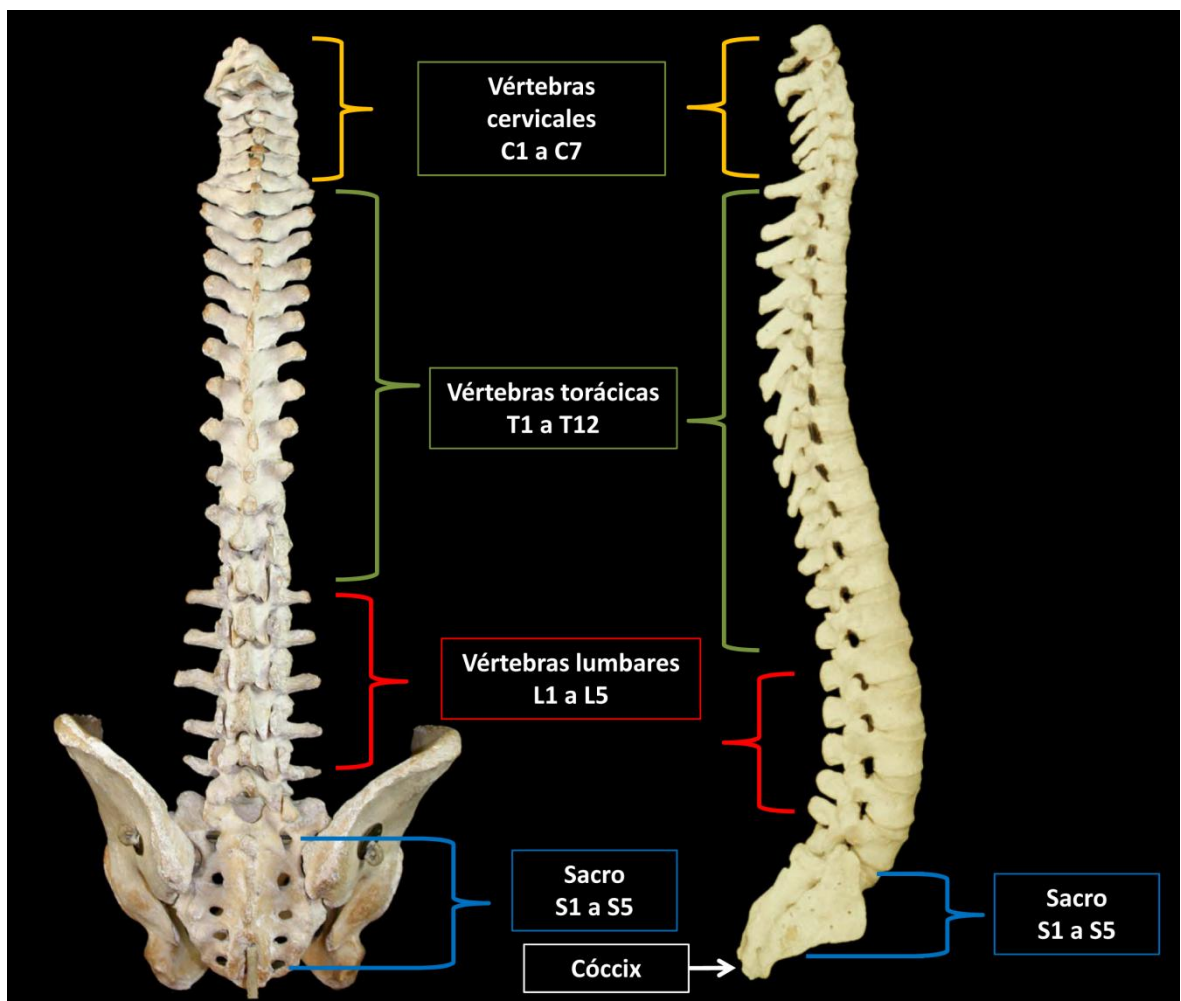


Figura 24. Regiones de la columna vertebral en vistas posterior y lateral. La imagen de la izquierda ha sido realizada de una pieza del Departamento de Anatomía y Embriología Humana, Facultad de Medicina, Universidad Complutense de Madrid. La imagen de la derecha ha sido tomada de Rohen *et al.*¹¹⁰

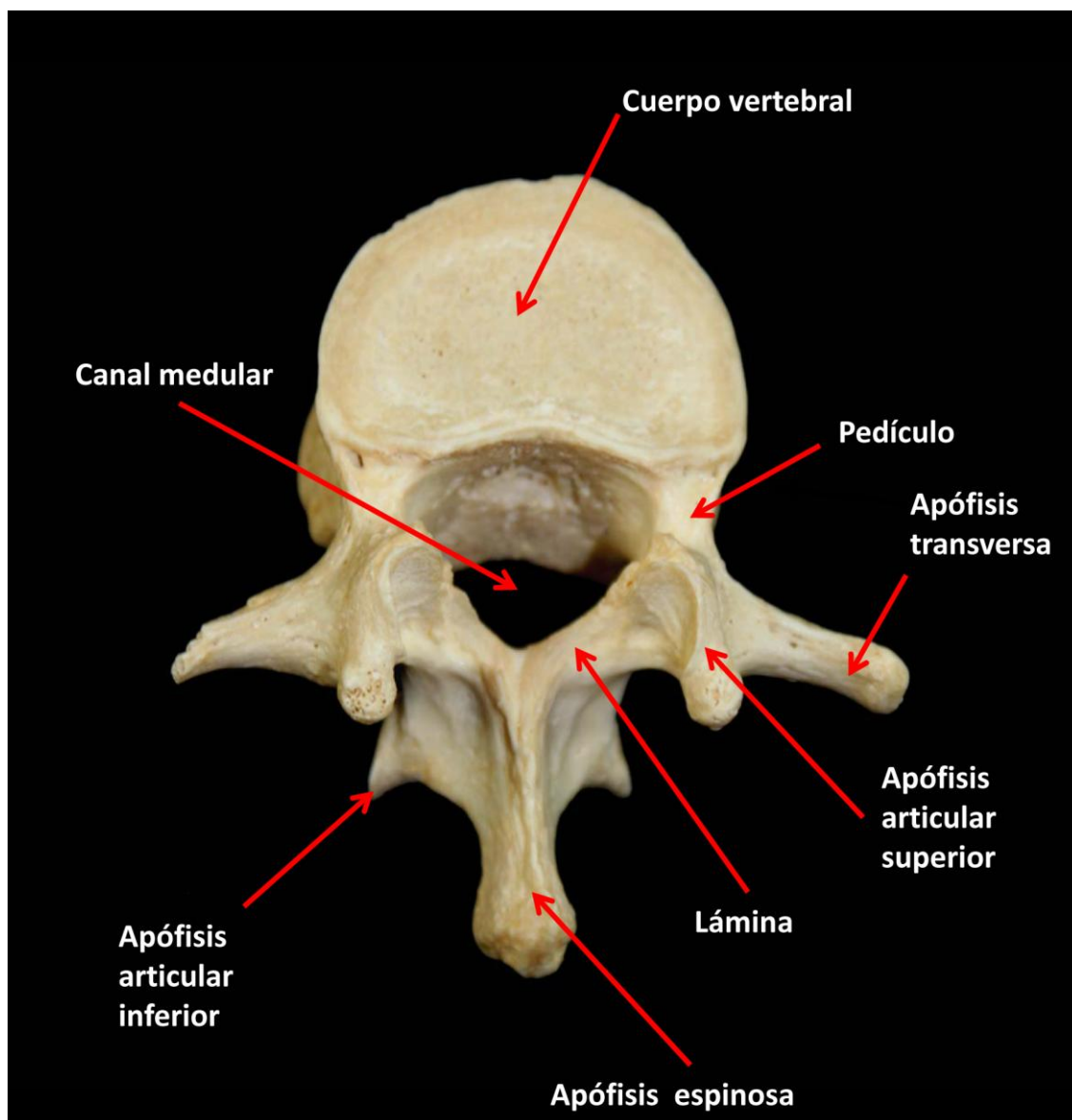


Figura 25. Detalles anatómicos de una vértebra lumbar, en visión superior, sobre los que se han definido las variables del presente estudio.

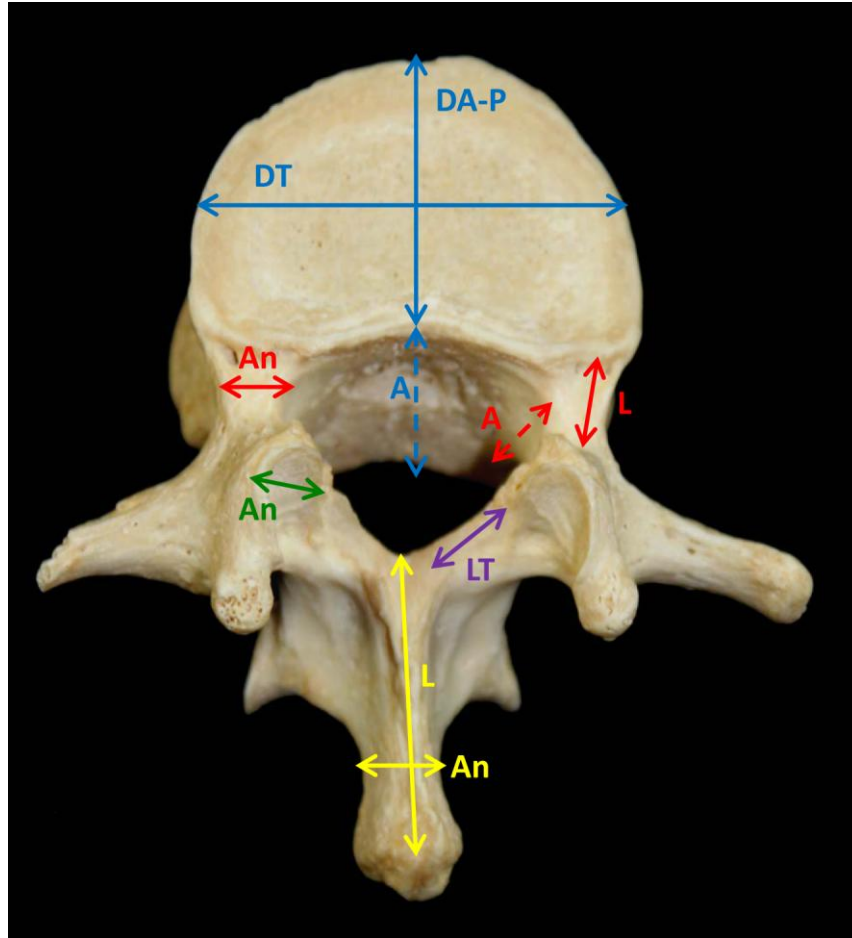


Figura 26. Vista superior de una vértebra lumbar. Representación de las variables analizadas: **Cuerpo vertebral** (\leftrightarrow): DA-P= diámetro antero-posterior, DT= diámetro transversal, A: altura. **Pedículo** (\leftrightarrow): L= longitud, An= anchura, A= altura. **Lámina** (\leftrightarrow): L= longitud transversa; **Apófisis articular superior** (\leftrightarrow): An= anchura. **Apófisis espinosa** (\leftrightarrow): L= longitud, An= anchura.

RESULTADOS

ESTUDIOS REALIZADOS EN CADÁVER

Se evaluaron las vértebras lumbares en un total de 30 cadáveres, los cuales fueron donados por el Anfiteatro del Hospital Universitario “Dr. José E. González Mendoza”. A las vértebras lumbares L1-L5 se les realizaron por triplicado las mediciones que se indican en el apartado de Material y Métodos (Figs. 27-30).



Figura 27. Visión postero-superior de una vértebra lumbar L5. Se señala el pedículo vertebral.



Figura 28. Visión superior de las vértebras lumbares L5 (izquierda) y L4 (derecha). Se señala el pedículo vertebral.



Figura 29. Visión superior de una vértebra lumbar L5. Se señala el pedículo vertebral.

Los resultados correspondientes a la estadística descriptiva de todas las variables y su comportamiento se resumen en la tabla 9.

Este mismo tipo de análisis se aplicó para cada grupo vertebral, con los resultados mostrados en las Tablas 10 a 14.

Tabla 9. Análisis descriptivo de las evaluaciones antropométricas del total de vértebras analizadas, mediante antropometría en cadáveres.

Variables	Medidas de las Vértebras Lumbares L1 – L5								
	Min	Max	Media	Error Típico	Desv Típica	Asim	Error típico	Curtosis	Error Típico
Pedículo									
Long	4.39	10.91	7.16	0.22	1.55	0.48	0.34	-0.23	0.66
Anch	4.46	16.90	7.93	0.41	2.89	1.76	0.34	3.37	0.66
Alt	11.13	30.37	15.40	0.40	2.84	2.94	0.34	15.12	0.66
Cuerpo									
AP	26.13	39.34	32.58	0.41	2.94	0.04	0.34	-0.55	0.66
T	36.37	55.41	43.27	0.63	4.48	0.73	0.34	0.30	0.66
Alto	22.23	30.43	26.00	0.25	1.75	0.35	0.34	0.17	0.66
A Td									
Alt	5.56	13.38	10.21	0.32	1.94	-0.41	0.39	0.01	0.77
Anch	3.79	25.04	16.33	0.92	5.54	-0.17	0.39	-0.70	0.77
A Ti									
Alt	7.15	18.66	10.50	0.34	2.20	1.46	0.37	3.81	0.72
Anch	5.68	31.67	18.55	0.89	5.71	-0.14	0.37	-0.33	0.72
Tubérculo									
Alto	9.45	25.53	19.81	0.42	2.87	-0.66	0.35	2.67	0.68
Ancho	3.01	17.63	4.81	0.32	2.18	4.61	0.35	26.35	0.68
Largo	16.47	47.74	24.88	0.86	5.90	1.24	0.35	3.48	0.68
Lámina									
Alt	19.98	29.15	23.58	0.33	2.29	0.65	0.34	-0.12	0.67
Anch	6.46	16.15	11.05	0.30	2.07	0.50	0.34	0.16	0.67
Art Sup									
Alt	7.78	17.35	11.91	0.30	2.14	0.08	0.34	-0.23	0.67
Anch	6.75	17.11	11.06	0.33	2.30	0.34	0.34	-0.25	0.67
Art Inf									
Alt	8.09	15.17	12.25	0.26	1.76	-0.45	0.35	-0.59	0.68
Anch	7.35	14.56	10.56	0.26	1.81	0.47	0.35	-0.68	0.68

Min: mínimo; Max: máximo; Asim: asimetría; Long: longitud; Anch: anchura; Alt: altura; AP: diámetro antero-posterior; T: diámetro transversal; A Td: apófisis transversa derecha; A Ti: apófisis transversa izquierda; Art Sup: apófisis articulares superiores; Art Inf: apófisis articulares inferiores. N=30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

Tabla 10. Análisis descriptivo de las evaluaciones antropométricas de la primera vértebra lumbar (L1), mediante antropometría en cadáveres.

Variables	Medidas de la Vértebra Lumbar L1								
	Min	Max	Media	Error Típico	Desv Típica	Asim	Error típico	Curtosis	Error Típico
Pedículo									
Long	5.19	10.91	7.39	0.69	2.20	0.69	0.69	-1.25	1.33
Anch	4.46	7.80	5.73	0.35	1.10	0.68	0.69	-0.42	1.33
Alt	14.81	17.14	16.18	0.25	0.80	-0.28	0.69	-1.14	1.33
Cuerpo									
AP	28.38	36.21	31.23	0.74	2.34	0.99	0.69	0.95	1.33
T	36.91	47.33	40.47	0.96	3.05	1.22	0.69	1.99	1.33
Alto	23.87	27.52	25.83	0.42	1.33	0.11	0.69	-1.42	1.33
A Td									
Alt	5.77	12.58	9.48	0.68	2.03	-0.37	0.72	0.21	1.40
Anch	6.89	18.51	13.48	1.31	3.92	-0.15	0.72	-0.73	1.40
A Ti									
Alt	7.15	12.91	10.15	0.70	2.11	-0.23	0.72	-1.65	1.40
Anch	7.94	21.59	15.16	1.63	4.89	-0.19	0.72	-1.20	1.40
Tubérculo									
Alto	17.89	24.82	20.06	0.70	2.20	1.31	0.69	1.05	1.33
Ancho	3.11	5.88	4.05	0.25	0.78	1.43	0.69	2.89	1.33
Largo	17.06	30.98	23.08	1.56	4.93	0.45	0.69	-1.52	1.33
Lámina									
Alt	20.30	29.15	23.22	0.79	2.49	1.59	0.69	3.34	1.33
Anch	8.06	12.44	9.80	0.44	1.39	0.70	0.69	-0.02	1.33
Art Sup									
Alt	8.02	13.64	11.07	0.56	1.78	-0.36	0.69	-0.82	1.33
Anch	6.75	12.11	9.80	0.70	2.22	-0.23	0.69	-2.08	1.33
Art Inf									
Alt	8.09	14.98	12.06	0.70	2.22	-0.72	0.69	-0.57	1.33
Anch	7.35	11.87	9.34	0.44	1.38	0.46	0.69	-0.57	1.33

Min: mínimo; Max: máximo; Asim: asimetría; Long: longitud; Anch: anchura; Alt: altura; AP: diámetro antero-posterior; T: diámetro transversal; A Td: apófisis transversa derecha; A Ti: apófisis transversa izquierda; Art Sup: apófisis articulares superiores; Art Inf: apófisis articulares inferiores. N=30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

Tabla 11. Análisis descriptivo de las evaluaciones antropométricas de la segunda vértebra lumbar (L2), mediante antropometría en cadáveres.

Variables	Medidas de la Vértebra Lumbar L2								
	Min	Max	Media	Error Típico	Desv Típica	Asim	Error típico	Curtosis	Error Típico
Pedículo									
Long	5.15	9.70	7.35	0.51	1.60	0.28	0.69	-1.61	1.33
Anch	5.38	9.07	6.49	0.38	1.19	1.24	0.69	1.06	1.33
Alt	13.41	18.12	15.25	0.48	1.51	0.60	0.69	-0.25	1.33
Cuerpo									
AP	28.68	36.94	31.98	0.87	2.76	0.47	0.69	-0.89	1.33
T	36.73	50.62	42.54	1.19	3.76	0.73	0.69	1.83	1.33
Alto	22.23	27.95	25.63	0.55	1.76	-0.52	0.69	0.04	1.33
A Td									
Alt	9.13	12.92	10.98	0.50	1.41	-0.16	0.75	-1.51	1.48
Anch	7.37	24.22	15.37	2.02	5.73	0.29	0.75	-0.94	1.48
A Ti									
Alt	8.39	12.89	10.40	0.48	1.53	0.29	0.69	-1.09	1.33
Anch	10.82	26.68	18.64	1.70	5.36	0.04	0.69	-1.46	1.33
Tubérculo									
Alto	15.36	25.53	21.02	0.92	2.91	-0.46	0.69	0.49	1.33
Ancho	3.11	6.91	4.22	0.34	1.07	2.03	0.69	4.83	1.33
Largo	20.04	33.50	25.21	1.42	4.48	0.85	0.69	-0.18	1.33
Lámina									
Alt	21.21	25.44	23.38	0.43	1.37	-0.07	0.69	-1.00	1.33
Anch	9.11	13.01	11.06	0.38	1.21	-0.22	0.69	-0.60	1.33
Art Sup									
Alt	8.76	17.35	11.79	0.93	2.94	0.82	0.69	-0.37	1.33
Anch	8.14	14.80	10.67	0.77	2.42	0.88	0.69	-0.88	1.33
Art Inf									
Alt	8.61	15.17	12.22	0.70	2.09	-0.38	0.72	-0.58	1.40
Anch	8.23	10.64	9.52	0.32	0.96	-0.28	0.72	-1.80	1.40

Min: mínimo; Max: máximo; Asim: asimetría; Long: longitud; Anch: anchura; Alt: altura; AP: diámetro antero-posterior; T: diámetro transversal; A Td: apófisis transversa derecha; A Ti: apófisis transversa izquierda; Art Sup: apófisis articulares superiores; Art Inf: apófisis articulares inferiores. N=30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

Tabla 12. Análisis descriptivo de las evaluaciones antropométricas de la tercera vértebra lumbar (L3), mediante antropometría en cadáveres.

Variables	Medidas de la Vértebra Lumbar L3								
	Min	Max	Media	Error Típico	Desv Típica	Asim	Error típico	Curtosis	Error Típico
Pedículo									
Long	4.91	10.16	7.27	0.50	1.58	0.32	0.69	-0.20	1.33
Anch	5.94	10.26	7.66	0.47	1.47	0.43	0.69	-0.98	1.33
Alt	12.14	19.60	14.98	0.63	1.99	1.33	0.69	2.98	1.33
Cuerpo									
AP	28.32	36.23	32.98	0.71	2.25	-0.78	0.69	1.05	1.33
T	38.50	53.37	43.79	1.45	4.60	0.89	0.69	0.62	1.33
Alto	22.85	30.43	25.56	0.64	2.03	1.49	0.69	3.77	1.33
A Td									
Alt	5.56	12.38	10.20	0.76	2.15	-1.58	0.75	3.11	1.48
Anch	3.79	25.04	18.49	2.52	7.14	-1.39	0.75	1.90	1.48
A Ti									
Alt	7.95	18.66	11.61	1.14	3.21	1.65	0.75	3.69	1.48
Anch	5.68	31.67	20.71	2.77	7.84	-0.83	0.75	1.20	1.48
Tubérculo									
Alto	16.93	25.44	19.71	0.84	2.52	1.47	0.72	3.32	1.40
Ancho	3.69	6.84	4.68	0.33	1.00	1.30	0.72	1.89	1.40
Largo	16.53	47.74	26.67	3.14	9.43	1.54	0.72	2.74	1.40
Lámina									
Alt	21.44	28.10	24.03	0.71	2.24	0.47	0.69	-0.72	1.33
Anch	9.35	14.06	11.09	0.41	1.31	1.24	0.69	2.23	1.33
Art Sup									
Alt	8.08	14.72	12.00	0.65	2.05	-0.59	0.69	-0.15	1.33
Anch	8.95	13.18	10.92	0.42	1.32	0.29	0.69	-0.54	1.33
Art Inf									
Alt	9.40	13.96	12.07	0.57	1.71	-0.36	0.72	-1.44	1.40
Anch	8.89	13.59	10.52	0.50	1.49	1.05	0.72	1.03	1.40

Min: mínimo; Max: máximo; Asim: asimetría; Long: longitud; Anch: anchura; Alt: altura; AP: diámetro antero-posterior; T: diámetro transversal; A Td: apófisis transversa derecha; A Ti: apófisis transversa izquierda; Art Sup: apófisis articulares superiores; Art Inf: apófisis articulares inferiores. N=30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

Tabla 13. Análisis descriptivo de las evaluaciones antropométricas de la cuarta vértebra lumbar (L4), mediante antropometría en cadáveres.

Variables	Medidas de la Vértebra Lumbar L4								
	Min	Max	Media	Error Típico	Desv Típica	Asim	Error típico	Curtosis	Error Típico
Pedículo									
Long	4.52	8.83	6.85	0.38	1.21	-0.35	0.69	0.50	1.33
Anch	5.92	10.80	8.44	0.57	1.81	-0.05	0.69	-1.80	1.33
Alt	11.66	30.37	15.86	1.75	5.52	2.35	0.69	6.28	1.33
Cuerpo									
AP	26.13	37.61	32.68	1.10	3.46	-0.63	0.69	-0.05	1.33
T	37.83	53.43	44.35	1.46	4.61	0.44	0.69	0.43	1.33
Alto	23.36	29.87	26.24	0.55	1.73	0.66	0.69	1.71	1.33
A Td									
Alt	7.65	13.38	10.37	1.11	2.49	0.37	0.91	-2.54	2.00
Anch	11.47	20.92	15.00	1.75	3.91	0.99	0.91	-0.11	2.00
A Ti									
Alt	7.95	15.66	10.32	0.95	2.52	1.96	0.79	4.50	1.59
Anch	11.71	25.09	20.04	1.69	4.47	-1.11	0.79	1.30	1.59
Tubérculo									
Alto	9.45	23.46	19.43	1.48	4.44	-1.67	0.72	2.78	1.40
Ancho	3.44	17.63	5.80	1.49	4.48	2.90	0.72	8.58	1.40
Largo	16.66	32.75	26.04	1.58	4.73	-0.65	0.72	0.99	1.40
Lámina									
Alt	20.39	28.17	24.11	0.89	2.82	0.26	0.69	-1.54	1.33
Anch	6.46	14.66	11.31	0.88	2.78	-0.38	0.69	-0.83	1.33
Art Sup									
Alt	7.78	14.28	11.92	0.55	1.75	-1.40	0.69	3.22	1.33
Anch	9.10	14.35	11.51	0.57	1.81	0.02	0.69	-1.02	1.33
Art Inf									
Alt	10.29	14.55	12.41	0.47	1.48	0.02	0.69	-1.15	1.33
Anch	8.81	14.56	11.49	0.68	2.15	0.10	0.69	-1.75	1.33

Min: mínimo; Max: máximo; Asim: asimetría; Long: longitud; Anch: anchura; Alt: altura; AP: diámetro antero-posterior; T: diámetro transversal; A Td: apófisis transversa derecha; A Ti: apófisis transversa izquierda; Art Sup: apófisis articulares superiores; Art Inf: apófisis articulares inferiores. N=30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

Tabla 14. Análisis descriptivo de las evaluaciones antropométricas de la quinta vértebra lumbar (L5), mediante antropometría en cadáveres.

Variables	Medidas de la Vértebra Lumbar L5								
	Min	Max	Media	Error Típico	Desv Típica	Asim	Error típico	Curtosis	Error Típico
Pedículo									
Long	4.39	8.66	6.96	0.38	1.20	-0.89	0.69	1.58	1.33
Anch	7.09	16.90	11.34	1.28	4.06	0.61	0.69	-1.68	1.33
Alt	11.13	18.01	14.74	0.71	2.24	-0.16	0.69	-1.05	1.33
Cuerpo									
AP	4.39	8.66	6.96	0.38	1.20	-0.89	0.69	1.58	1.33
T	7.09	16.90	11.34	1.28	4.06	0.61	0.69	-1.68	1.33
Alto	11.13	18.01	14.74	0.71	2.24	-0.16	0.69	-1.05	1.33
A Td									
Alt	7.85	13.38	10.14	0.77	1.88	1.00	0.84	1.59	1.74
Anch	12.88	24.66	20.10	1.77	4.32	-1.04	0.84	0.33	1.74
A Ti									
Alt	8.04	11.98	9.99	0.55	1.46	0.46	0.79	-0.89	1.59
Anch	13.07	26.09	18.84	1.87	4.95	0.55	0.79	-1.18	1.59
Tubérculo									
Alto	16.38	21.39	18.66	0.56	1.69	0.29	0.72	-0.89	1.40
Ancho	3.01	7.52	5.48	0.43	1.28	-0.36	0.72	1.06	1.40
Largo	16.47	32.25	23.54	1.76	5.28	0.15	0.72	-0.64	1.40
Lámina									
Alt	19.98	28.33	23.13	0.87	2.62	0.69	0.72	0.70	1.40
Anch	8.56	16.15	12.10	0.95	2.84	0.33	0.72	-1.50	1.40
Art Sup									
Alt	9.75	15.66	12.87	0.66	1.98	-0.29	0.72	-1.06	1.40
Anch	7.86	17.11	12.53	1.00	2.99	-0.12	0.72	-0.86	1.40
Art Inf									
Alt	10.36	14.57	12.49	0.51	1.53	-0.02	0.72	-1.39	1.40
Anch	9.43	13.55	11.95	0.46	1.39	-0.62	0.72	-0.62	1.40

Min: mínimo; Max: máximo; Asim: asimetría; Long: longitud; Anch: anchura; Alt: altura; AP: diámetro antero-posterior; T: diámetro transversal; A Td: apófisis transversa derecha; A Ti: apófisis transversa izquierda; Art Sup: apófisis articulares superiores; Art Inf: apófisis articulares inferiores. N=30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

Al comprobar los promedios obtenidos en las tablas anteriores de manera gráfica, se observó un comportamiento similar entre todas las vértebras, como lo muestra la figura 30, mediante antropometría en cadáveres.

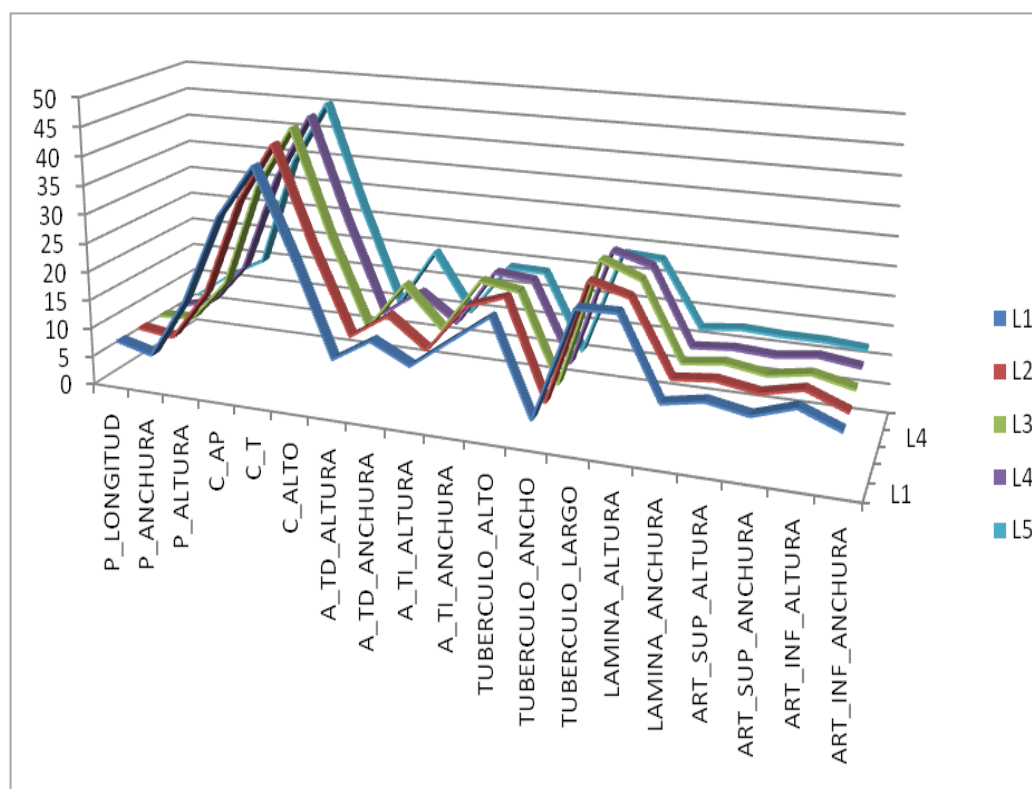


Figura 30. Comparación gráfica de los valores promedios de las variables estudiadas, según la vértebra (L1-L5), mediante antropometría en cadáveres. C: cuerpo; AP: diámetro antero-posterior; T: diámetro transversal; A Td: apófisis transversa derecha; A Ti: apófisis transversa izquierda; Art Sup: apófisis articulares superiores; Art Inf: apófisis articulares inferiores. N= 30. Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

El análisis de los pedículos, cuerpos, apófisis, tubérculos, láminas y articulaciones, para cada una de las vértebras lumbares (Figs. 31-36), puso de manifiesto variaciones a nivel de la altura y anchura de los pedículos (Fig. 31). El aumento de la anchura del pedículo entre niveles adyacentes de la región lumbar queda reflejado en la Tabla 15.

Así mismo, se registraron variaciones a nivel de la articulación entre L4 y L5 (Fig. 35). En lo que respecta a las apófisis, éstas presentan variaciones a nivel de la anchura en todos los niveles, como se aprecia en la figura 30. El resto de los parámetros estudiados mostró comportamientos similares en todas las vértebras (Figs. 32-34,36).

Tabla 15. Aumento de las proporciones de la anchura del pedículo entre niveles adyacentes de la región lumbar (expresado en porcentaje), mediante antropometría en cadáveres.

Nivel Vertebral	Aumento de la Anchura Pedicular (%)
L1-L2	13.32%
L2-L3	18.04%
L3-L4	10.14%
L4-L5	34.36%

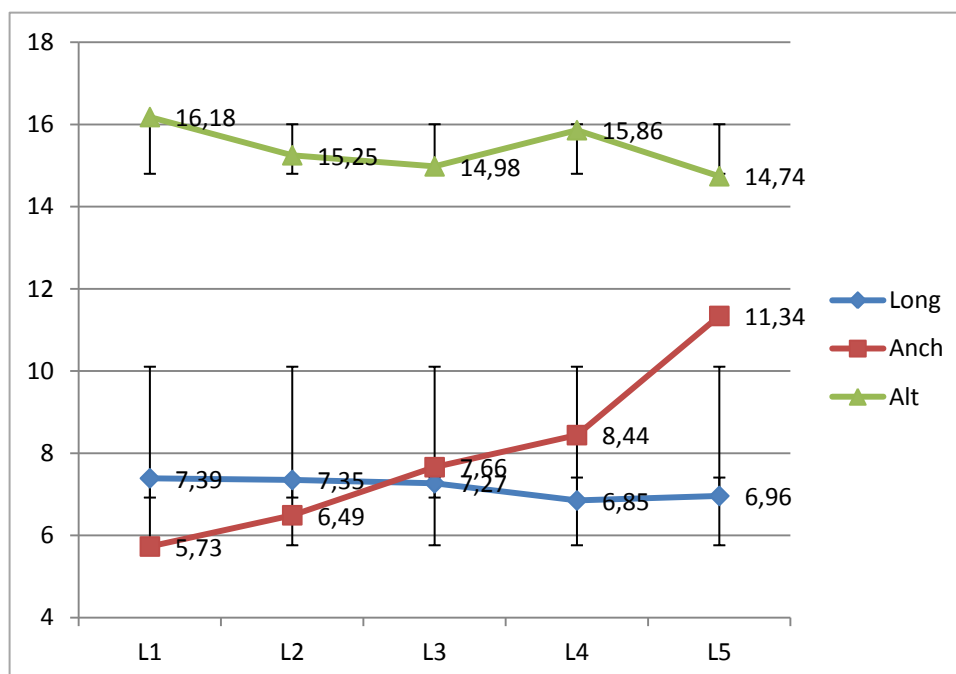


Figura 31. Comparación gráfica de las medidas promedio de los pedículos en las distintas vértebras lumbares (L1-L5), mediante antropometría en cadáveres. Long: longitud; Anch: anchura; Alt: altura. N= 30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

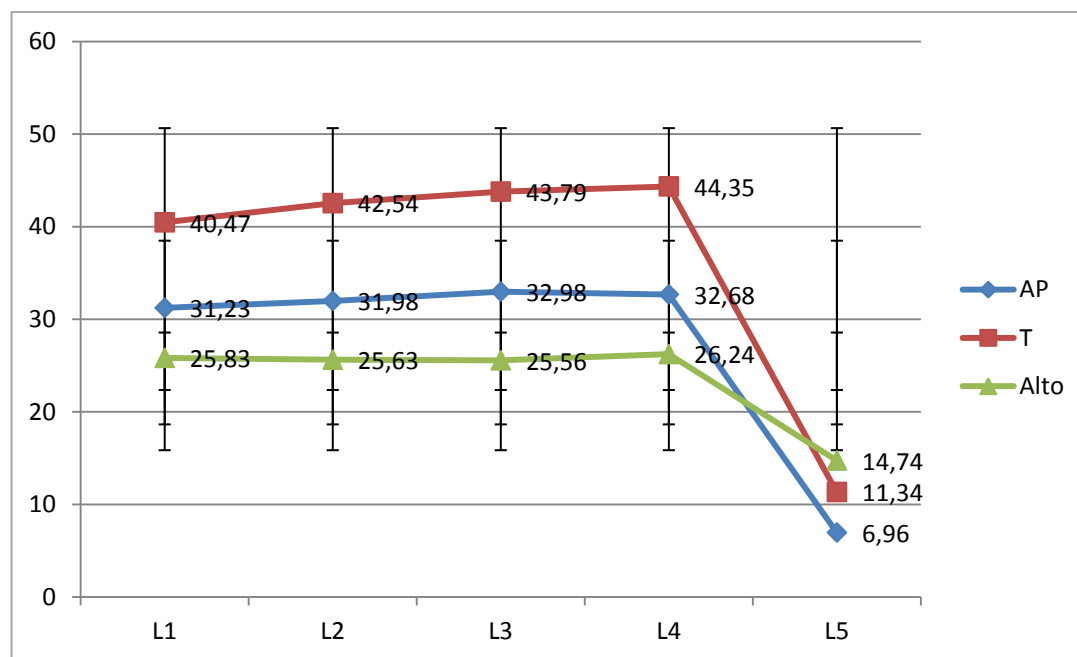


Figura 32. Comparación gráfica de las medidas promedio de los cuerpos vertebrales en las distintas vértebras lumbares (L1-L5), mediante antropometría en cadáveres. AP: diámetro antero-posterior; T: diámetro transversal. N= 30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

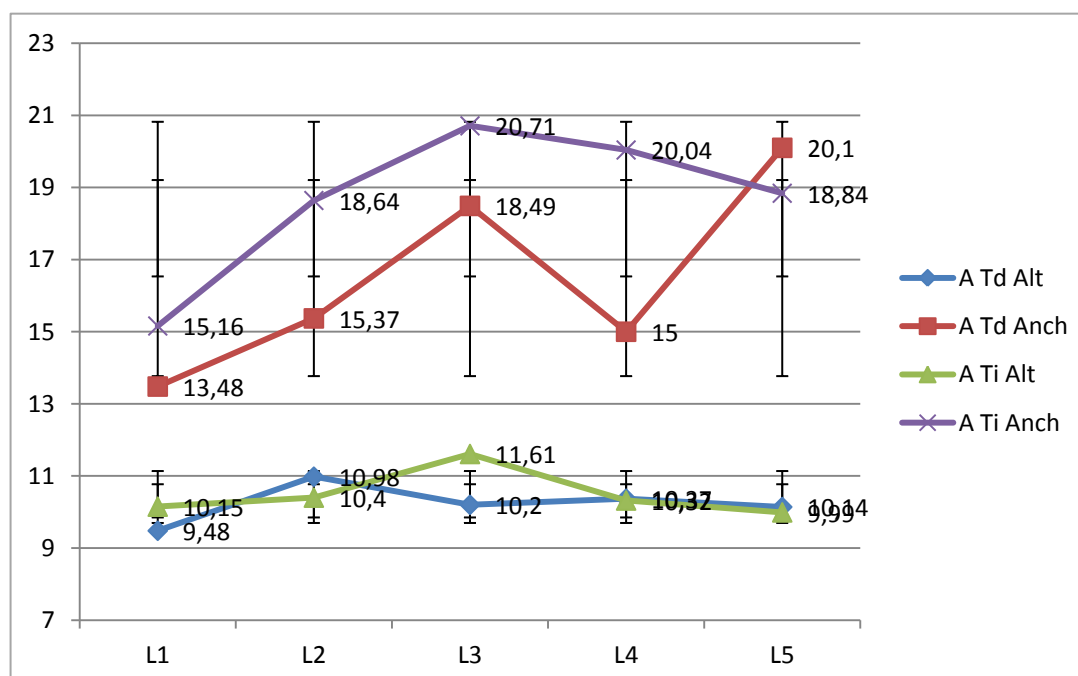


Figura 33. Comparación gráfica de las medidas promedio de las apófisis de las distintas vértebras lumbares (L1-L5), mediante antropometría en cadáveres. Anch: anchura; Alt: altura; A Td: apófisis transversal derecha; A Ti: apófisis transversal izquierda. N= 30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

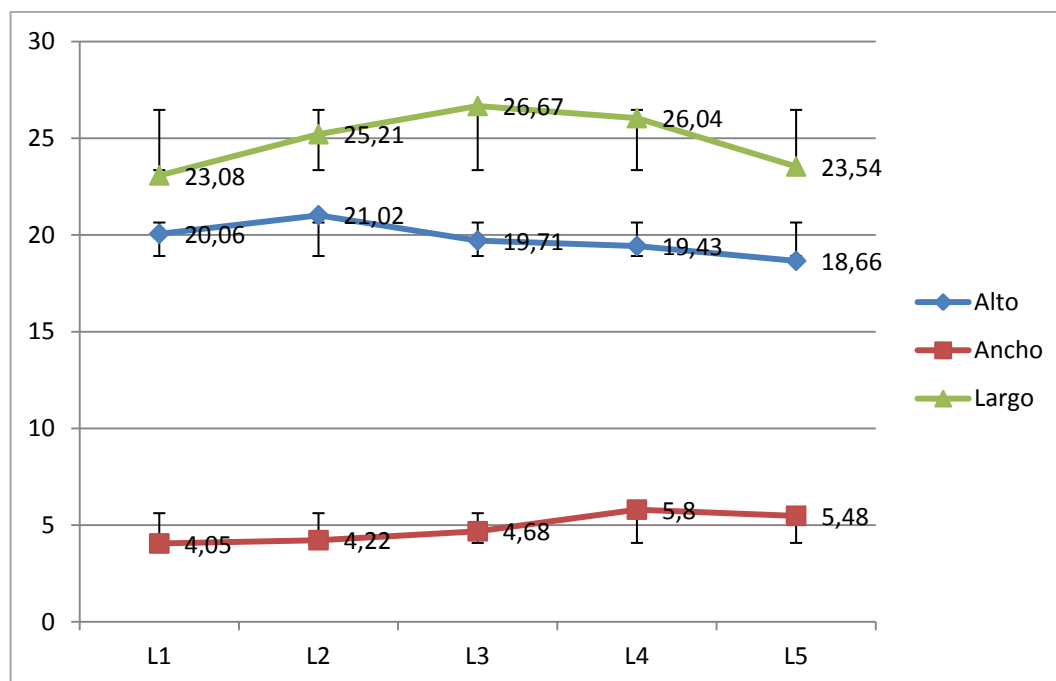


Figura 34. Comparación gráfica de las medidas promedio de los tubérculos de las distintas vértebras lumbares (L1-L5), mediante antropometría en cadáveres. N= 30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

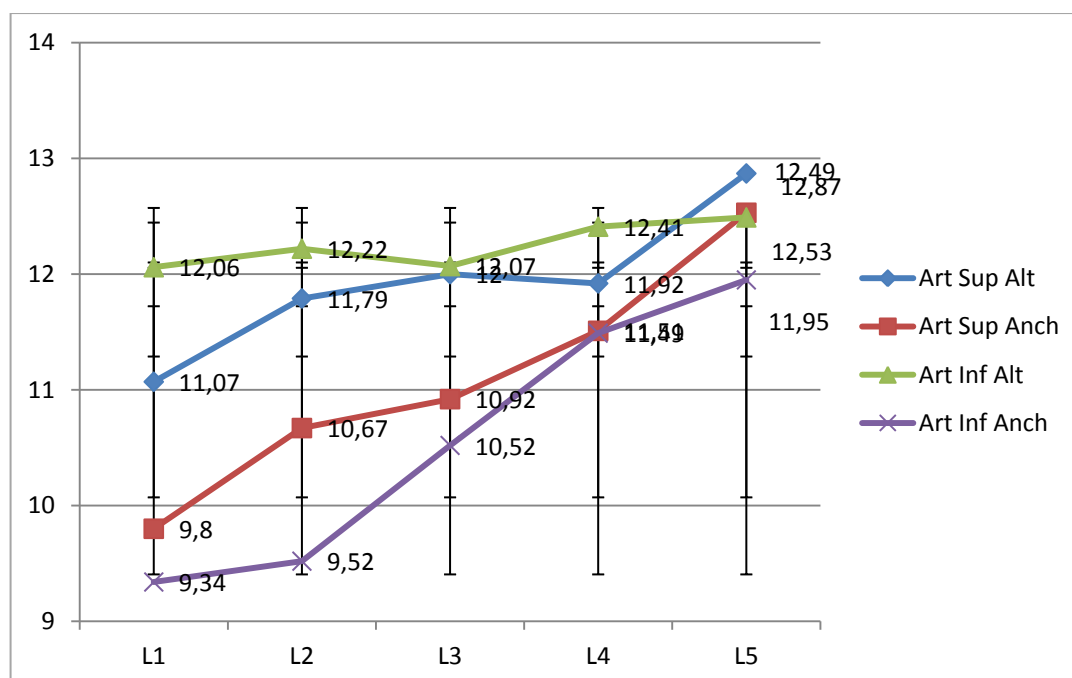


Figura 35. Comparación gráfica de las medidas promedio de las articulaciones de las distintas vértebras lumbares (L1-L5), mediante antropometría en cadáveres. Anch: anchura; Alt: altura; Art Sup: apófisis articulares superiores; Art Inf: apófisis articulares inferiores. N= 30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

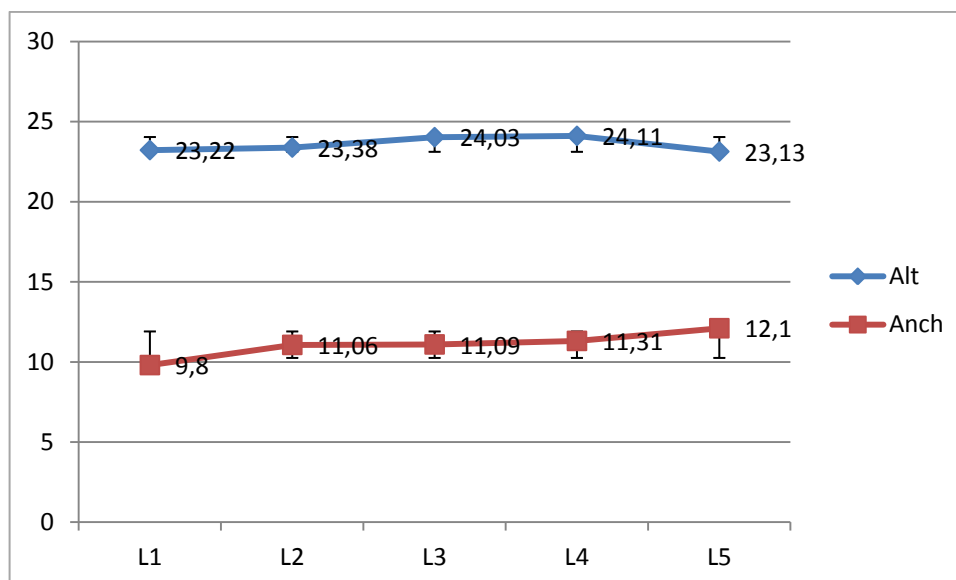


Figura 36. Comparación gráfica de las medidas promedio de las láminas de las distintas vértebras lumbares (L1-L5), mediante antropometría en cadáveres. Anch: anchura; Alt: altura. N= 30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

Finalmente, se compararon todas las variables anteriores, segmentando por el tipo de vértebra lumbar (L1 - L5), mediante pruebas de hipótesis para medias a un intervalo de confianza del 95%. Los cruces con diferencias significativas ($p > 0.05$) se muestran en la Tabla 16. El resto de las comparaciones no fueron significativas.

Tabla 16. Variables que muestran diferencias estadísticamente significativas entre las distintas vértebras lumbares, mediante antropometría en cadáveres.

Variable	Vértebra Lumbar				
	L5	L4	L3	L2	L1
Pedículo anchura	11.3 \pm 4.1	8.4 \pm 1.8	7.7 \pm 1.5*	6.5 \pm 1.2 [‡]	5.7 \pm 1.1 [‡]
Art Inferior anchura	11.9 \pm 1.4	11.5 \pm 2.1	10.5 \pm 1.5	9.5 \pm 1.0 [§]	9.3 \pm 1.4 ^{§,£}

Art Inferior: apófisis articular inferior; NA: no aplicable; *: $p < 0.05$ con respecto a L5; [‡]: $p < 0.01$ con respecto a L5; [§]: $p < 0.005$ con respecto a L5; [£]: $p < 0.05$ con respecto a L4. Medidas en mm, media \pm desviación t pica.

ESTUDIOS REALIZADOS CON TÉCNICAS DE IMAGEN

Con la finalidad de afianzar los resultados obtenidos, se evaluaron un total de 30 pacientes mediante Tomografía Axial Computarizada, a fin de conocer la antropometría de los pedículos cervicales *in vivo*, determinando las medidas del pedículo de cada vértebra lumbar, la altura, el diámetro antero-posterior y el diámetro axial. Los resultados se muestran en las figuras 37 a 66, y las Tablas 17 a 21 reflejan el resumen de la estadística descriptiva. Las mediciones de las vértebras lumbares L1-L5, indicadas en el apartado de Material y Métodos, se realizaron por triplicado.

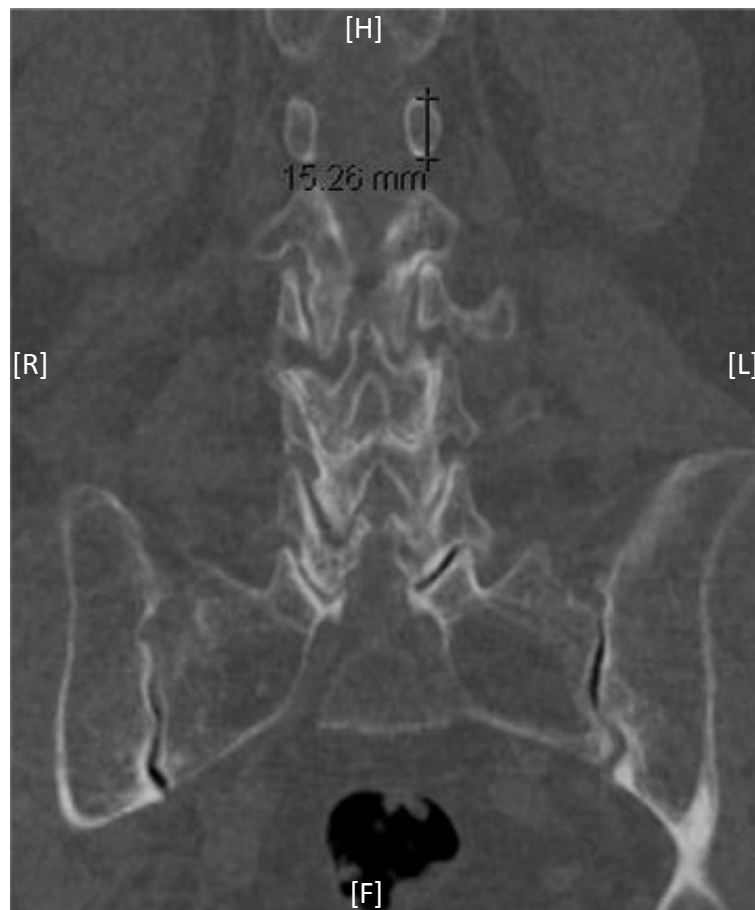


Figura 37. Análisis tomográfico en sección coronal de los pedículos en L1. Determinación de la altura del pedículo Paciente 1.

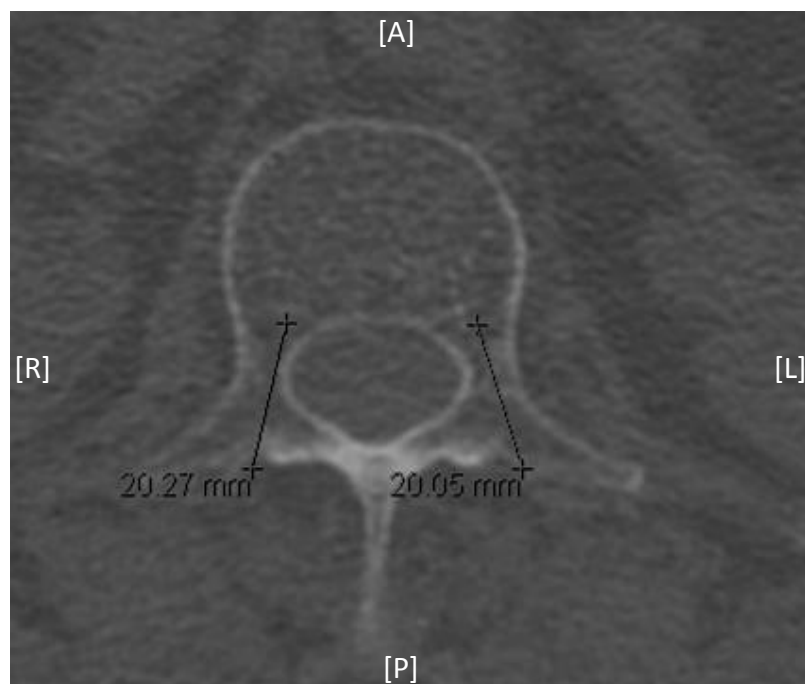


Figura 38. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L1. Determinación de la longitud del pedículo (o diámetro antero-posterior), y la dirección ideal de un tornillo. Paciente 1.

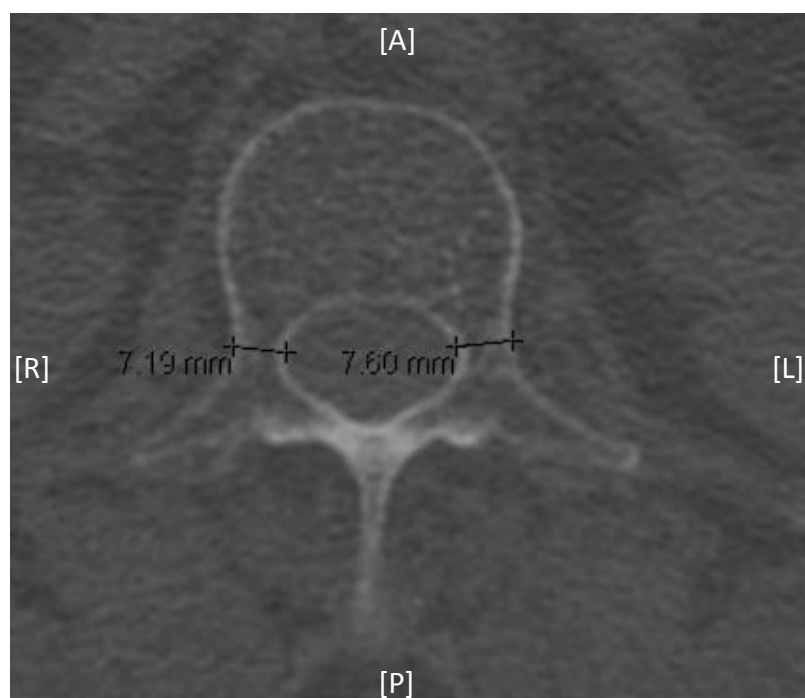


Figura 39. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L1. Determinación de la anchura del pedículo. En algunos casos su valor es definitivo sobre la decisión de colocar, o no, un tornillo. Paciente 1.

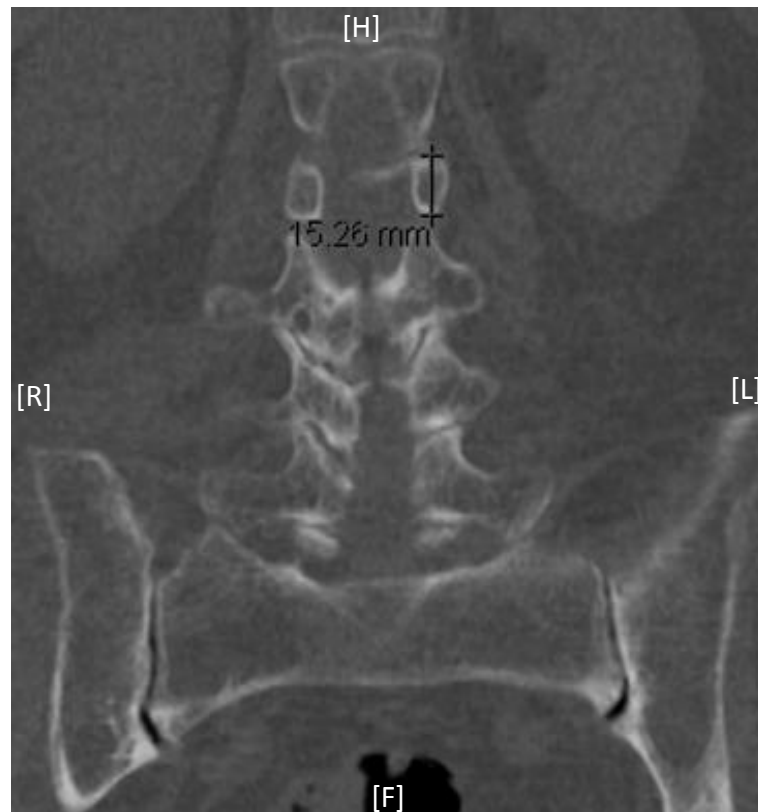


Figura 40. Análisis tomográfico en sección coronal de los pedículos en L2. Determinación de la altura del pedículo Paciente 1.

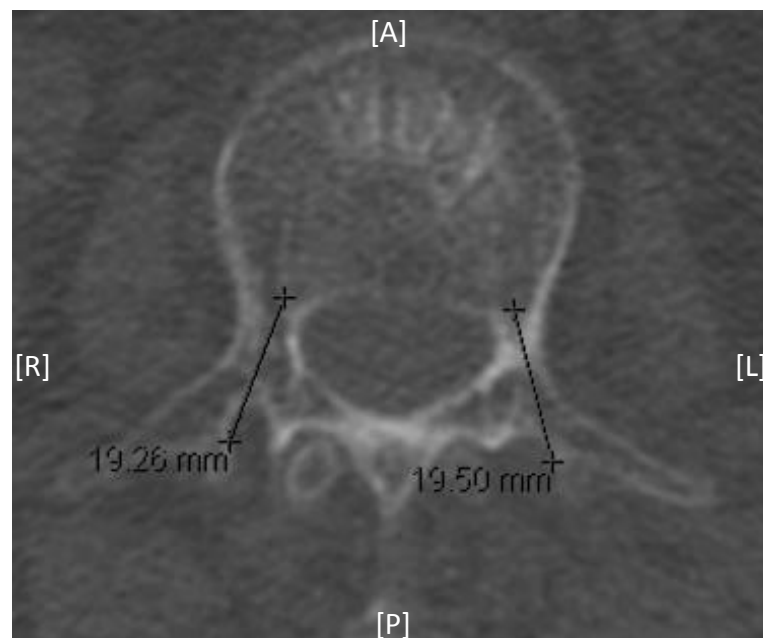


Figura 41. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L2. Determinación de la longitud del pedículo (o diámetro antero-posterior), y la dirección ideal de un tornillo. Paciente 1.

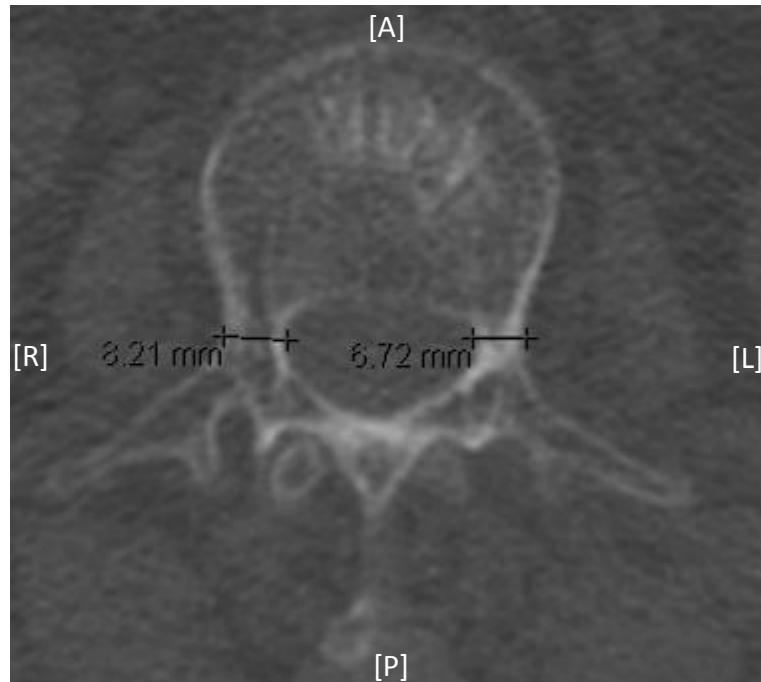


Figura 42. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L2. Determinación de la anchura del pedículo. En algunos casos su valor es definitivo sobre la decisión de colocar, o no, un tornillo. Paciente 1.

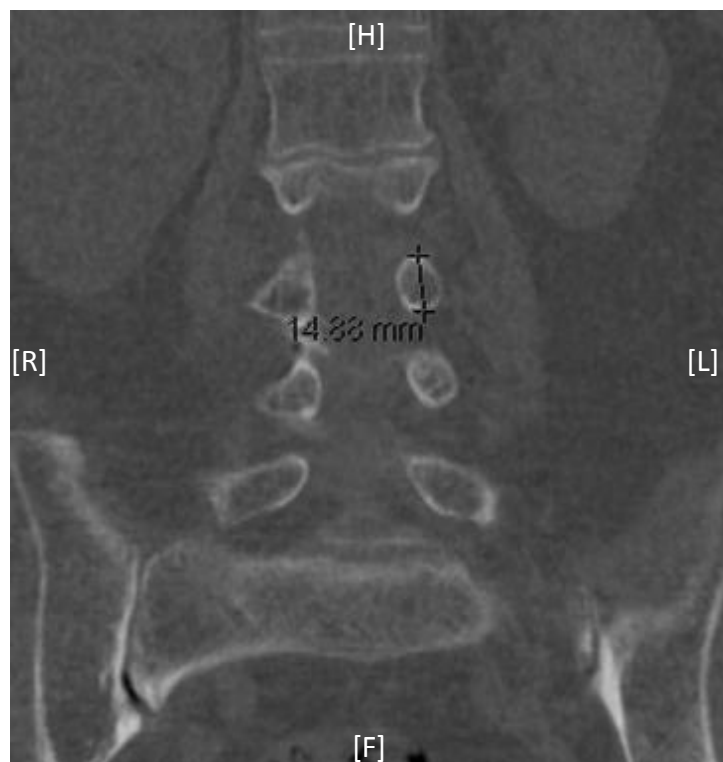


Figura 43. Análisis tomográfico en sección coronal de los pedículos en L3. Determinación de la altura del pedículo Paciente 1.

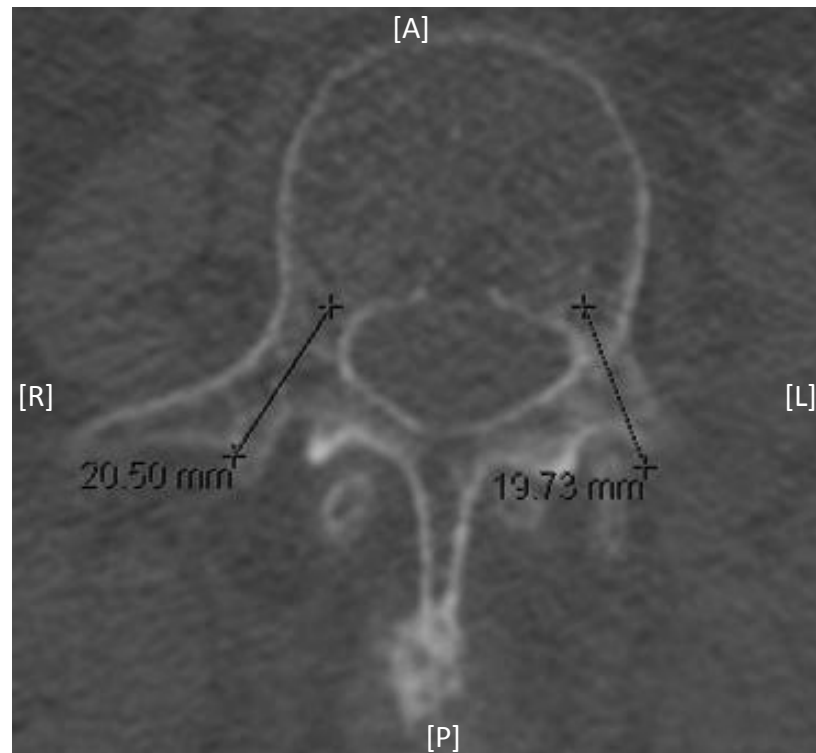


Figura 44. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L3. Determinación de la longitud del pedículo (o diámetro antero-posterior), y la dirección ideal de un tornillo. Paciente 1.

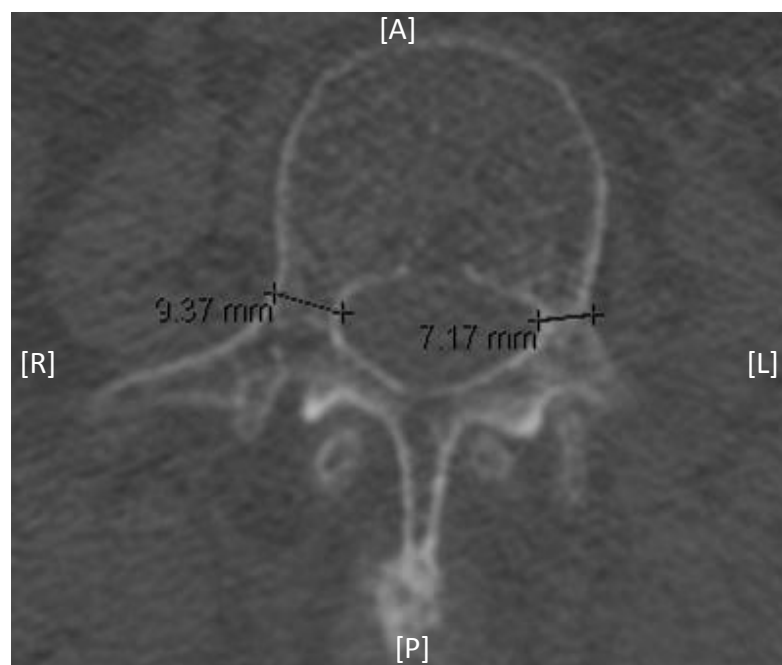


Figura 45. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L3. Determinación de la anchura del pedículo. En algunos casos su valor es definitivo sobre la decisión de colocar, o no, un tornillo. Paciente 1.

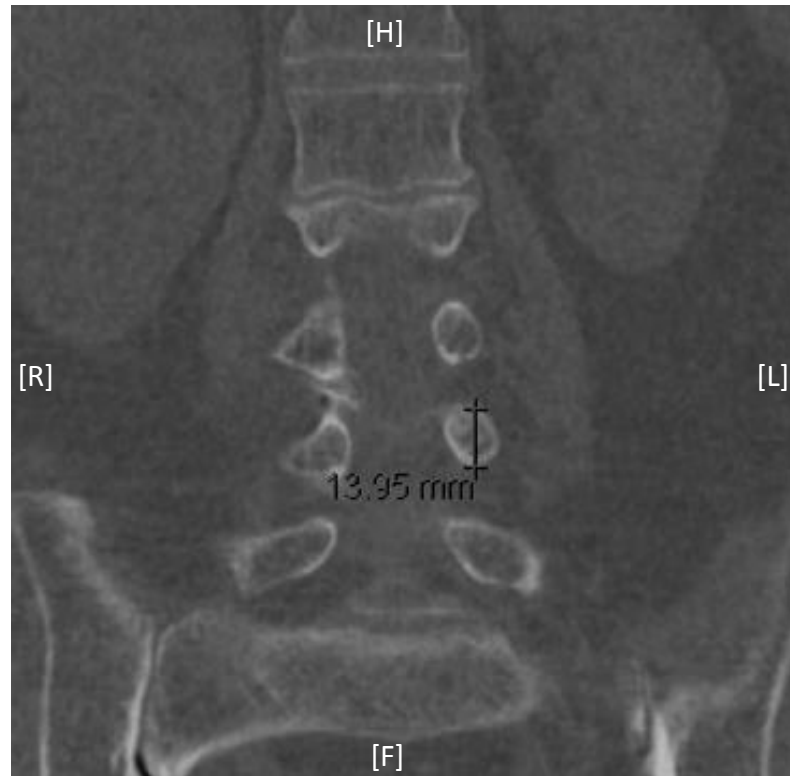


Figura 46. Análisis tomográfico en sección coronal de los pedículos en L4. Determinación de la altura del pedículo Paciente 1.

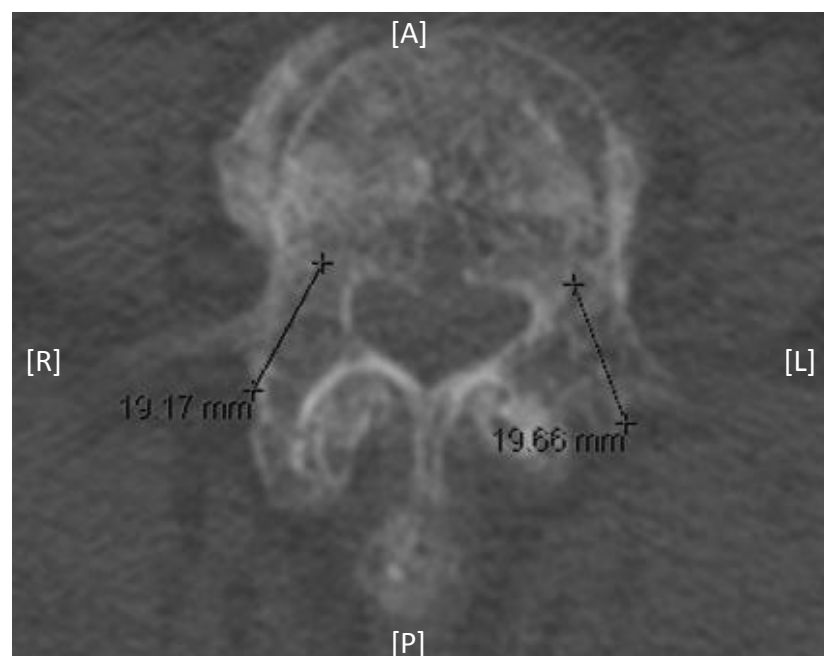


Figura 47. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L4. Determinación de la longitud del pedículo (o diámetro antero-posterior), y la dirección ideal de un tornillo. Paciente 1.

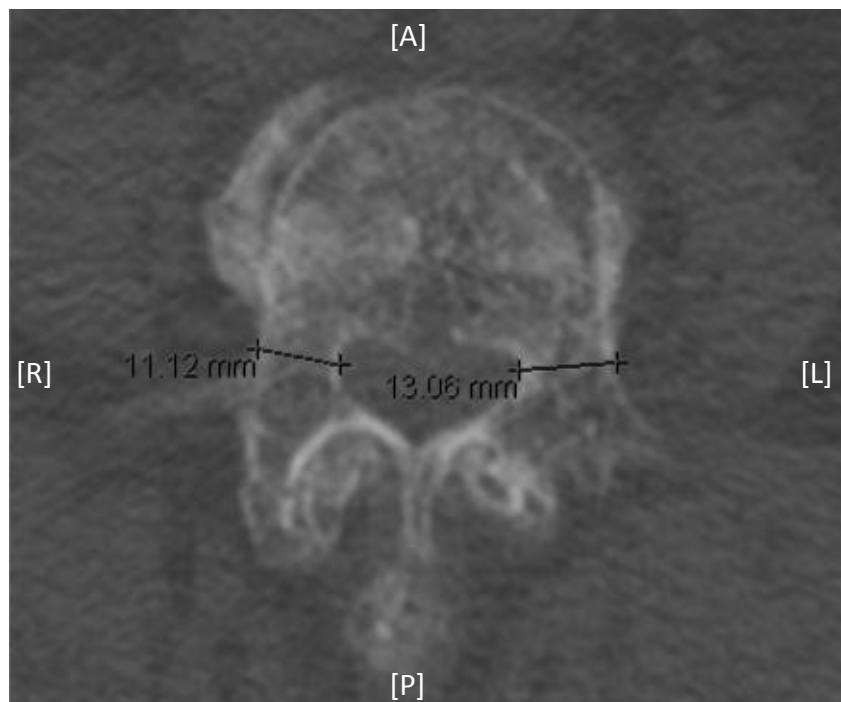


Figura 48. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L4. Determinación de la anchura del pedículo. En algunos casos su valor es definitivo sobre la decisión de colocar, o no, un tornillo. Paciente 1.

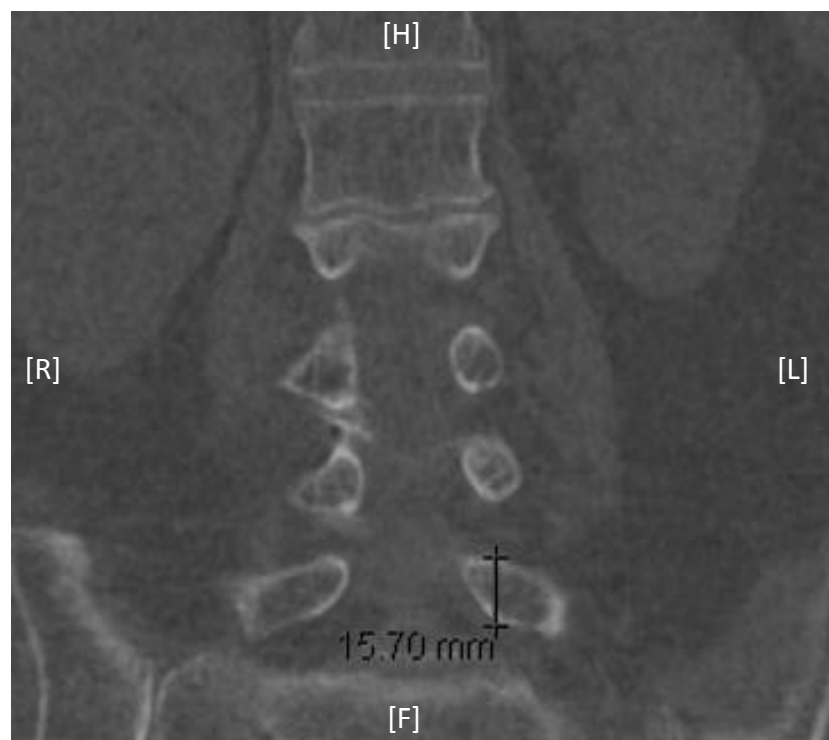


Figura 49. Análisis tomográfico en sección coronal de los pedículos en L5. Determinación de la altura del pedículo Paciente 1.

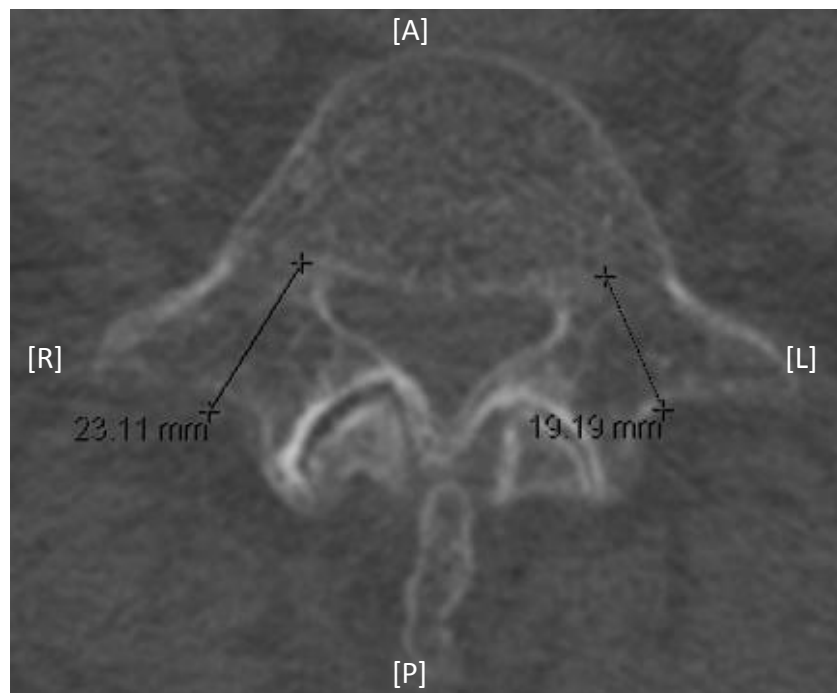


Figura 50. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L5. Determinación de la longitud del pedículo (o diámetro antero-posterior), y la dirección ideal de un tornillo. Paciente 1.

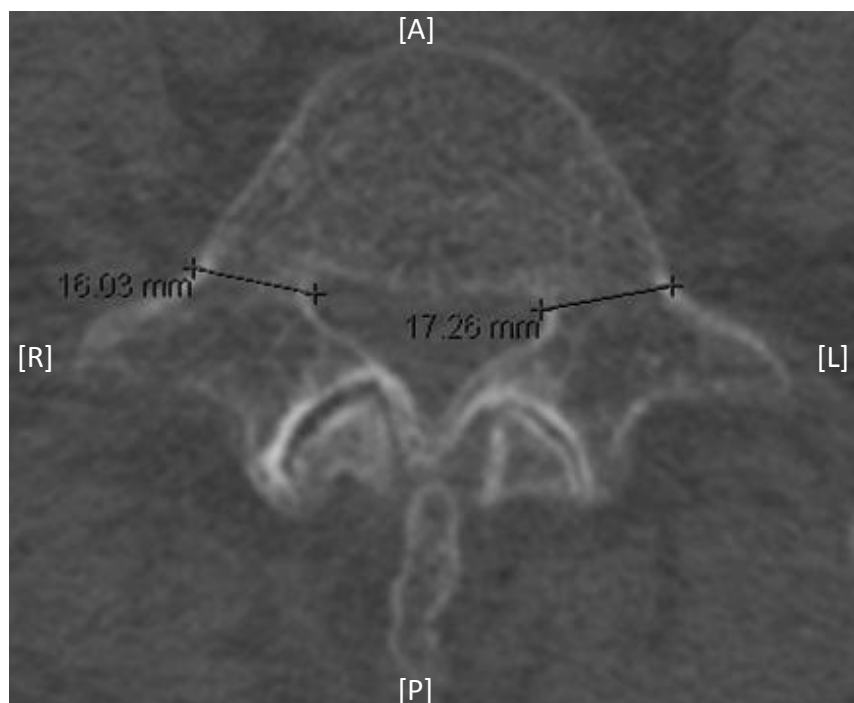


Figura 51. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L5. Determinación de la anchura del pedículo. En algunos casos su valor es definitivo sobre la decisión de colocar, o no, un tornillo. Paciente 1.

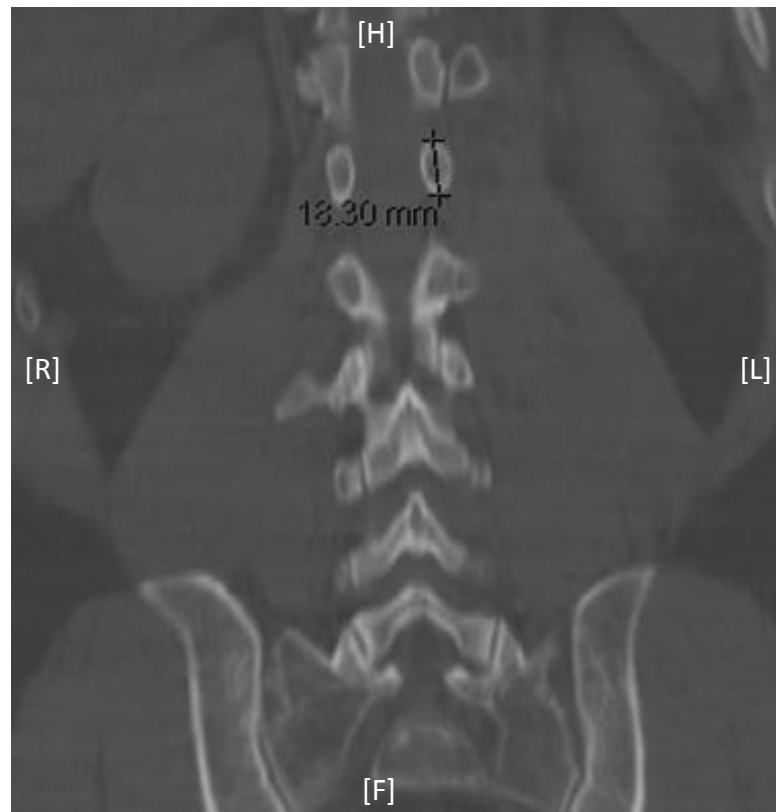


Figura 52. Análisis tomográfico en sección coronal de los pedículos en L1. Determinación de la altura del pedículo Paciente 2.

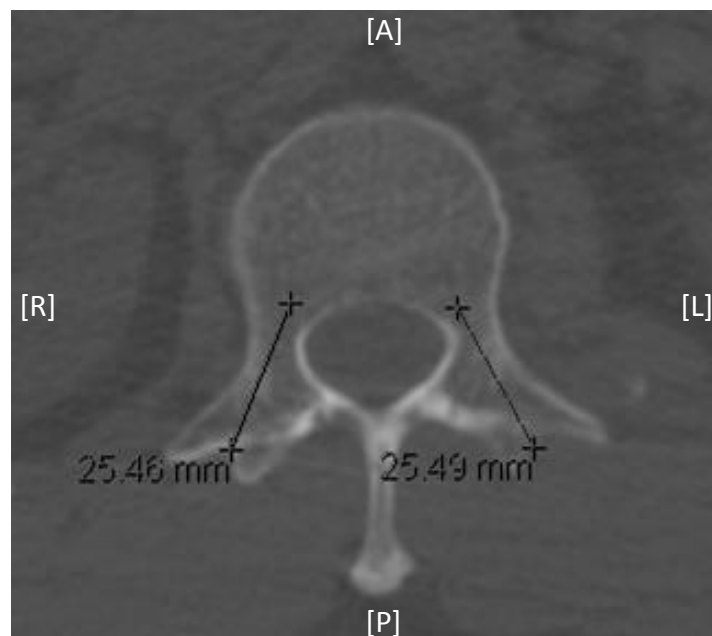


Figura 53. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L1. Determinación de la longitud del pedículo (o diámetro antero-posterior), y la dirección ideal de un tornillo. Paciente 2.

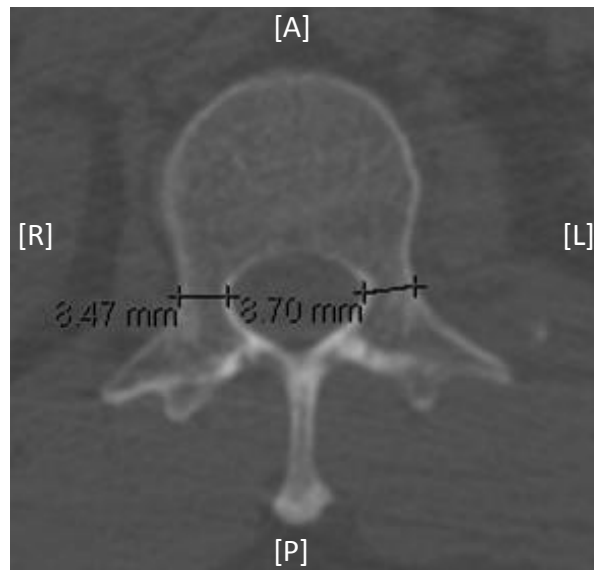


Figura 54. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L1. Determinación de la anchura del pedículo. En algunos casos su valor es definitivo sobre la decisión de colocar, o no, un tornillo. Paciente 2.



Figura 55. Análisis tomográfico en sección coronal de los pedículos en L2. Determinación de la altura del pedículo Paciente 2.

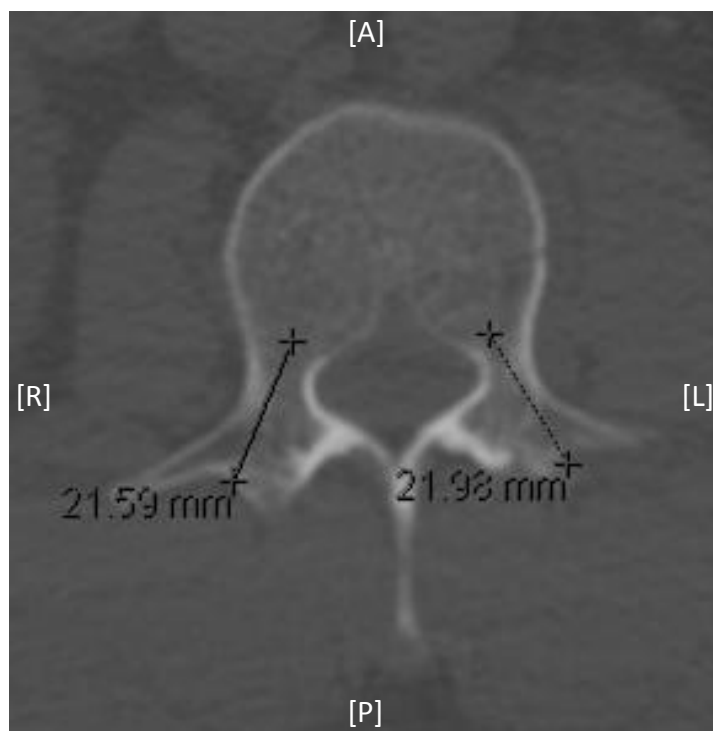


Figura 56. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L2. Determinación de la longitud del pedículo (o diámetro antero-posterior), y la dirección ideal de un tornillo. Paciente 2.

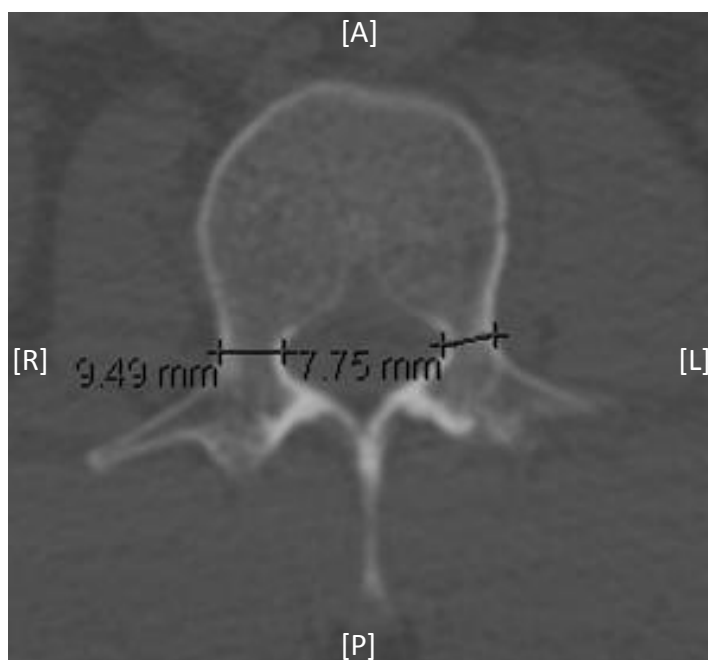


Figura 57. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L2. Determinación de la anchura del pedículo. En algunos casos su valor es definitivo sobre la decisión de colocar, o no, un tornillo. Paciente 2.



Figura 58. Análisis tomográfico en sección coronal de los pedículos en L3. Determinación de la altura del pedículo Paciente 2.

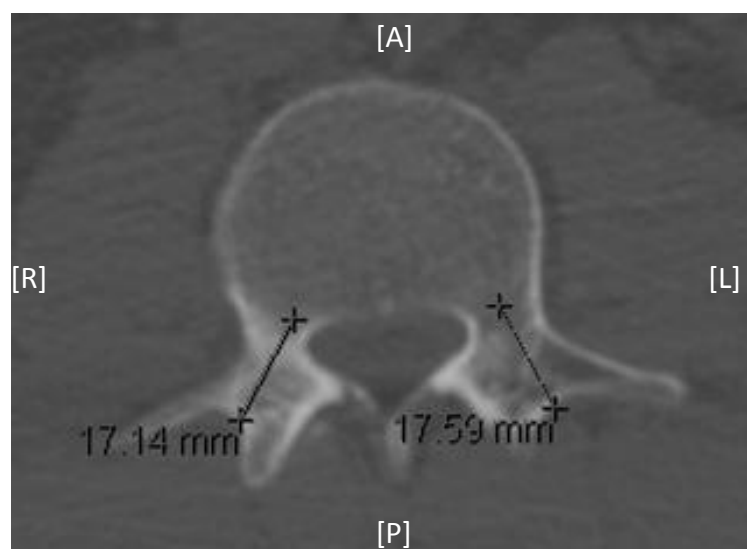


Figura 59. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L3. Determinación de la longitud del pedículo (o diámetro antero-posterior), y la dirección ideal de un tornillo. Paciente 2.

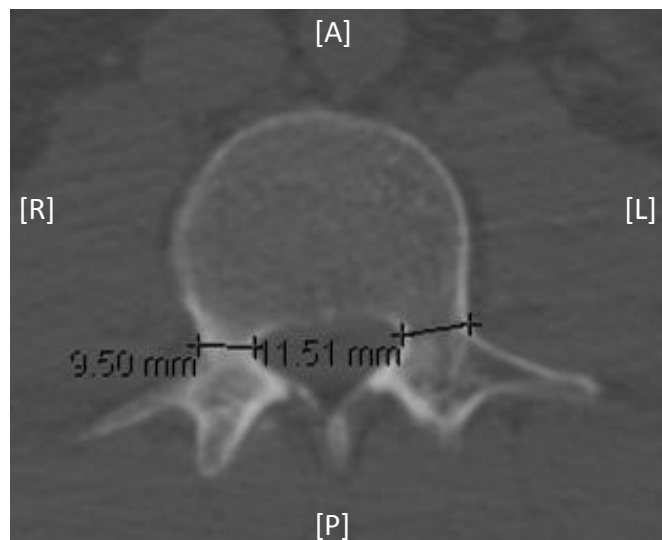


Figura 60. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L3. Determinación de la anchura del pedículo. En algunos casos su valor es definitivo sobre la decisión de colocar, o no, un tornillo. Paciente 2.

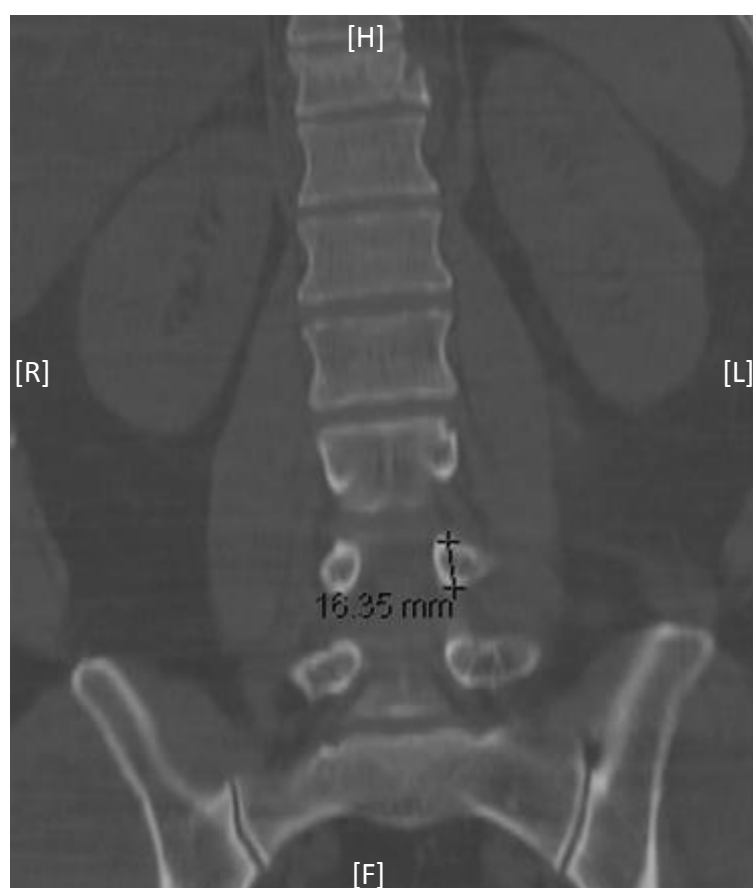


Figura 61. Análisis tomográfico en sección coronal de los pedículos en L4. Determinación de la altura del pedículo Paciente 2.

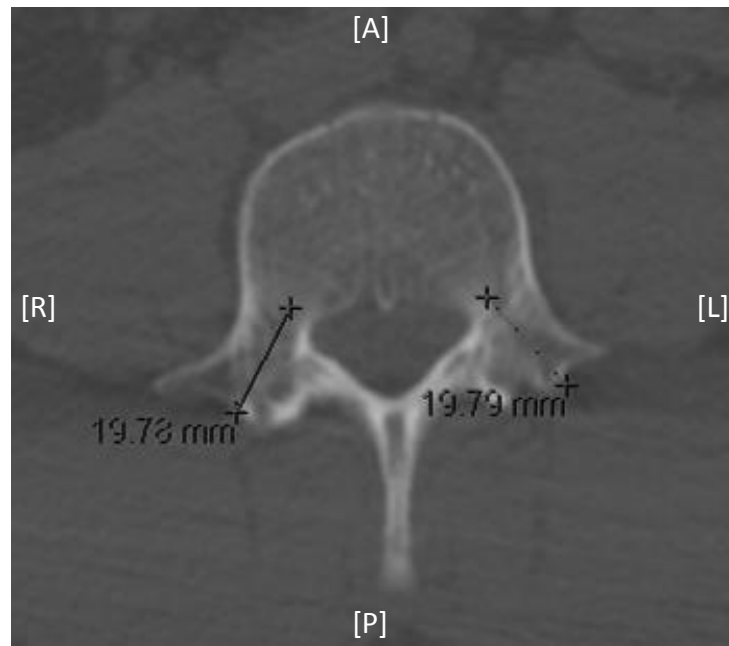


Figura 62. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L4. Determinación de la longitud del pedículo (o diámetro antero-posterior), y la dirección ideal de un tornillo. Paciente 2.

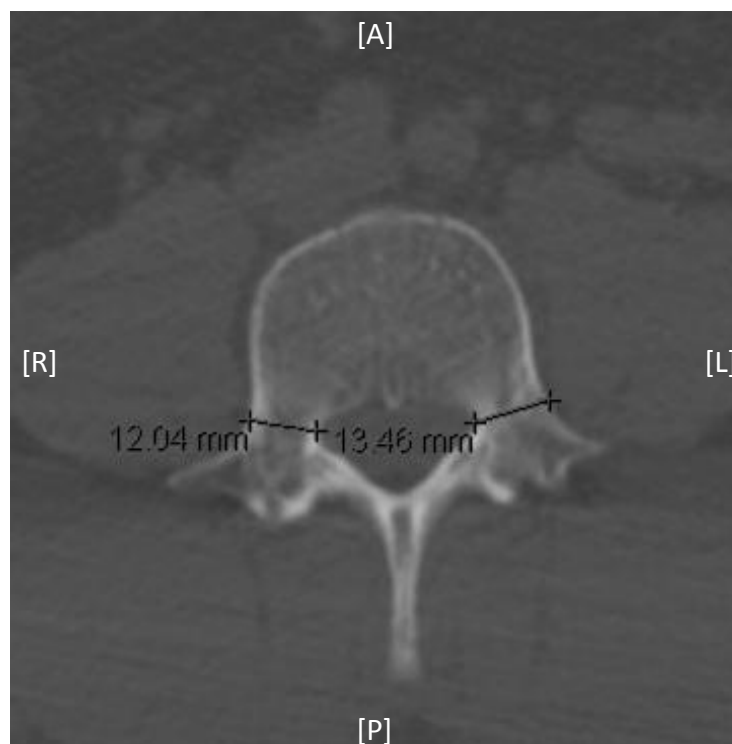


Figura 63. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L4. Determinación de la anchura del pedículo. En algunos casos su valor es definitivo sobre la decisión de colocar, o no, un tornillo. Paciente 2.



Figura 64. Análisis tomográfico en sección coronal de los pedículos en L5. Determinación de la altura del pedículo Paciente 2.

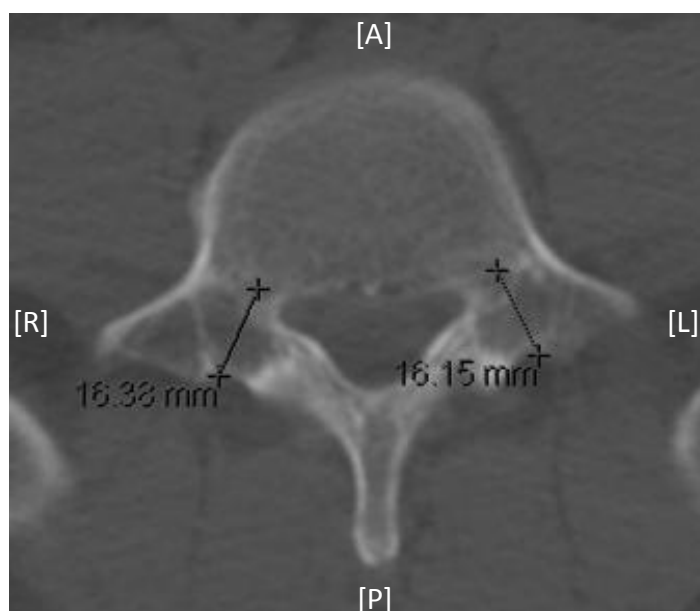


Figura 65. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L5. Determinación de la longitud del pedículo (o diámetro antero-posterior), y la dirección ideal de un tornillo. Paciente 2.

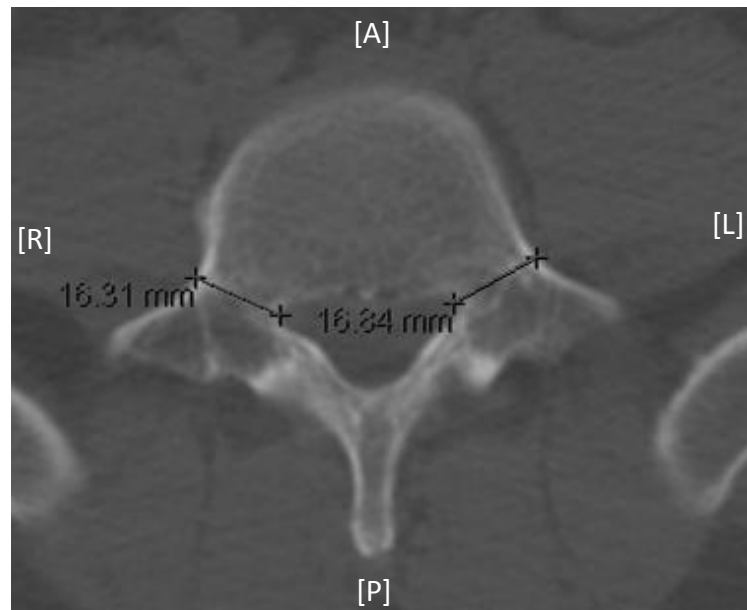


Figura 66. Análisis tomográfico en sección axial (o transversal) de los pedículos en L5. Determinación de la anchura del pedículo. En algunos casos su valor es definitivo sobre la decisión de colocar, o no, un tornillo. Paciente 2.

Tabla 17. Análisis descriptivo de las variables altura, diámetro antero-posterior y diámetro axial del pedículo para la vértebra lumbar, mediante Tomografía Axial Computarizada.

Parámetro Estadístico	Pedículo Vertebral de L1		
	Altura	Diámetro AP	Diámetro Axial
Media	16.81	20.92	6.72
Mediana	16.57	20.19	6.68
Moda	15.18	20.00	6.69
Desv. Típica	1.59	2.45	2.08
Asimetría	0.23	0.57	0.32
Error Tip. Asim.	0.43	0.43	0.43
Curtosis	-0.78	-0.17	0.57
Error Tip. Curtosis	0.83	0.83	0.83
Mínimo	13.76	16.54	2.96
Máximo	19.81	26.07	12.24

Desv: desviación; Tip: típico; Asim: asimetría; AP: anteroposterior. n=30. Medidas en mm.

Tabla 18. Análisis descriptivo de las variables altura, diámetro antero-posterior y diámetro axial del pedículo para la vértebra lumbar, mediante TAC.

Parámetro Estadístico	Pedículo Vertebral de L2		
	Altura	Diámetro AP	Diámetro Axial
Media	15.43	20.47	7.33
Mediana	15.17	20.16	7.52
Moda	12.96	17.45	7.68
Desv. Típica	1.73	2.17	1.83
Asimetría	0.37	0.56	-0.45
Error Tip. Asim.	0.43	0.43	0.43
Curtosis	-0.62	-0.10	-0.07
Error Tip.Curtosis	0.83	0.83	0.83
Mínimo	12.86	17.45	3.37
Máximo	19.12	26.16	10.42

Desv: desviación; Tip: típico; Asim: asimetría; AP: anteroposterior. n=30. Medidas en mm.

Tabla 19. Análisis descriptivo de las variables altura, diámetro antero-posterior y diámetro axial del pedículo para la vértebra lumbar L3, mediante Tomografía Axial Computarizada.

Parámetro Estadístico	Pedículo Vertebral de L3		
	Altura	Diámetro AP	Diámetro Axial
Media	15.45	19.22	8.73
Mediana	15.58	18.93	9.10
Moda	14.53	14.74	9.50
Desv. Típica	1.45	2.45	1.68
Asimetría	0.09	0.07	-0.55
Error Tip. Asim.	0.43	0.43	0.43
Curtosis	-0.976	-0.62	-0.52
Error Tip.Curtosis	0.83	0.83	0.83
Mínimo	12.85	14.74	4.92
Máximo	18.00	23.77	11.50

Desv: desviación; Tip: típico; Asim: asimetría; AP: anteroposterior. n=30. Medidas en mm.

Tabla 20. Análisis descriptivo de las variables altura, diámetro antero-posterior y diámetro axial del pedículo para la vértebra lumbar L4, mediante Tomografía Axial Computarizada.

Parámetro Estadístico	Pedículo Vertebral de L4		
	Altura	Diámetro AP	Diámetro Axial
Media	15.42	18.20	10.63
Mediana	15.21	18.57	11.14
Moda	12.21	16.09	12.04
Desv. Típica	1.98	2.35	1.66
Asimetría	0.72	-0.19	-0.72
Error Tip. Asim.	0.43	0.43	0.43
Curtosis	0.58	-1.02	-0.03
Error Tip.Curtosis	0.83	0.83	0.83
Mínimo	12.21	13.78	6.65
Máximo	20.11	22.10	13.45

Desv: desviación; Tip: típico; Asim: asimetría; AP: anteroposterior. n=30. Medidas en mm.

Tabla 21. Análisis descriptivo de las variables altura, diámetro antero-posterior y diámetro axial del pedículo para la vértebra lumbar L5, mediante TAC.

Parámetro Estadístico	Pedículo Vertebral de L5		
	Altura	Diámetro AP	Diámetro Axial
Media	15.82	16.70	14.48
Mediana	15.70	17.16	14.94
Moda	14.37	13.53	12.64
Desv. Típica	2.43	2.31	1.88
Asimetría	0.36	0.35	-0.44
Error Tip. Asim.	0.43	0.43	0.43
Curtosis	-0.28	-0.15	-0.71
Error Tip.Curtosis	0.83	0.83	0.83
Mínimo	11.79	13.23	10.64
Máximo	21.44	22.31	17.78

Desv: desviación; Tip: típico; Asim: asimetría; AP: anteroposterior. n=30. Medidas en mm.

Siguiendo esta misma segmentación, se desarrollaron diagramas de caja y gráficos de distribución de puntos de la Altura, y los Diámetros AP y Axial (Figs. 67-72), con la finalidad de contrastar la distribución y el comportamiento de los datos. La comparación de dichas variables mediante el test de la *t* de Student mostró diferencias estadísticamente significativas en los siguientes cruces (Tabla 22):

- La altura pedicular de L1 es mayor que la de L2 y L3.
- Los diámetros AP de L1 y L2 son superiores a los de L4 y L5, y el de L3 es superior al de L5.
- Con respecto al diámetro axial, el de L3 es superior a L1 y L2, el de L4 es mayor que el de sus tres predecesoras, y el de L5 es mayor que el de sus cuatro vértebras predecesoras.
- Las diferencias entre el resto de variables no fueron estadísticamente significativas (Fig. 70).

Tabla 22. Análisis comparativo de las variables determinadas por Tomografía Axial Computarizada entre las diferentes vértebras lumbares.

Vértebra Lumbar	Altura	Diámetro AP	Diámetro Axial
L1	16.8 ± 1.6	20.9 ± 2.4	6.7 ± 2.1
L2	15.4 ± 1.7*	20.5 ± 2.1	7.3 ± 1.8
L3	15.4 ± 1.4*	19.2 ± 2.4	8.7 ± 1.7 [¥]
L4	15.4 ± 2.0	18.2 ± 2.3 [¥]	10.6 ± 1.7 ^{¥,&}
L5	15.8 ± 2.4	16.7 ± 2.3 ^{¥,&}	14.5 ± 1.9 [§]

*: $p < 0.05$ con respecto a L1; [¥]: $p < 0.05$ con respecto a L1 y L2; [&]: $p < 0.05$ con respecto a L3; [§]: $p < 0.05$ con respecto a L1, L2, L3, L4. AP: anteroposterior. n=30. Medidas en mm.

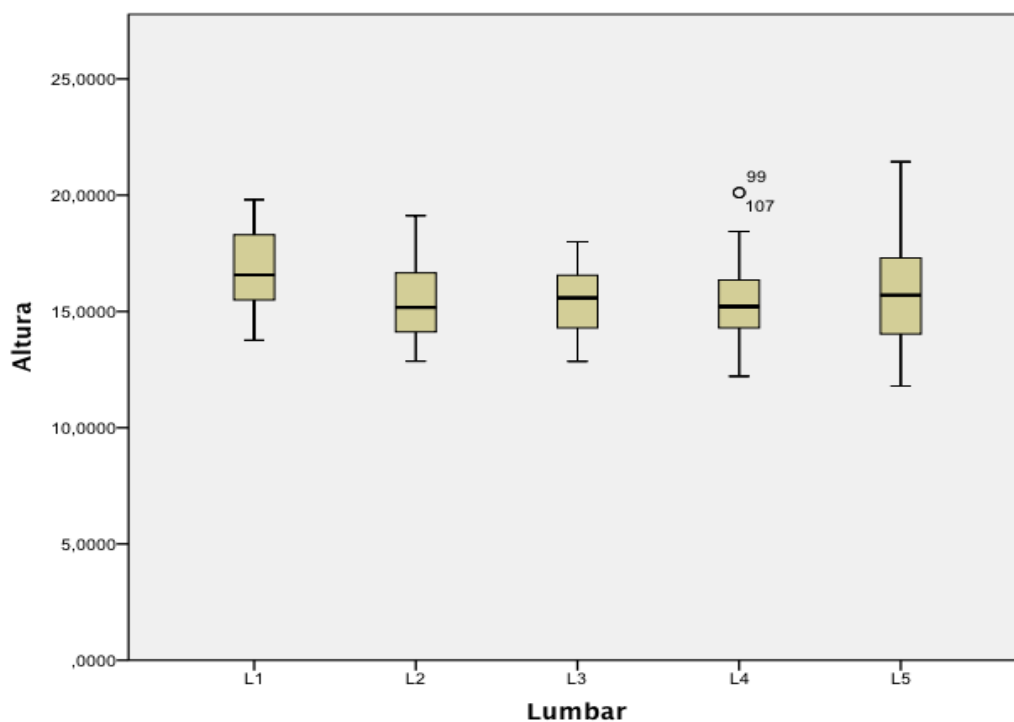


Figura 67. Diagrama de cajas para la altura pedicular, según vértebra lumbar (L1-L5), mediante Tomografía Axial Computarizada. n= 30 pacientes. Fuente: TAC.

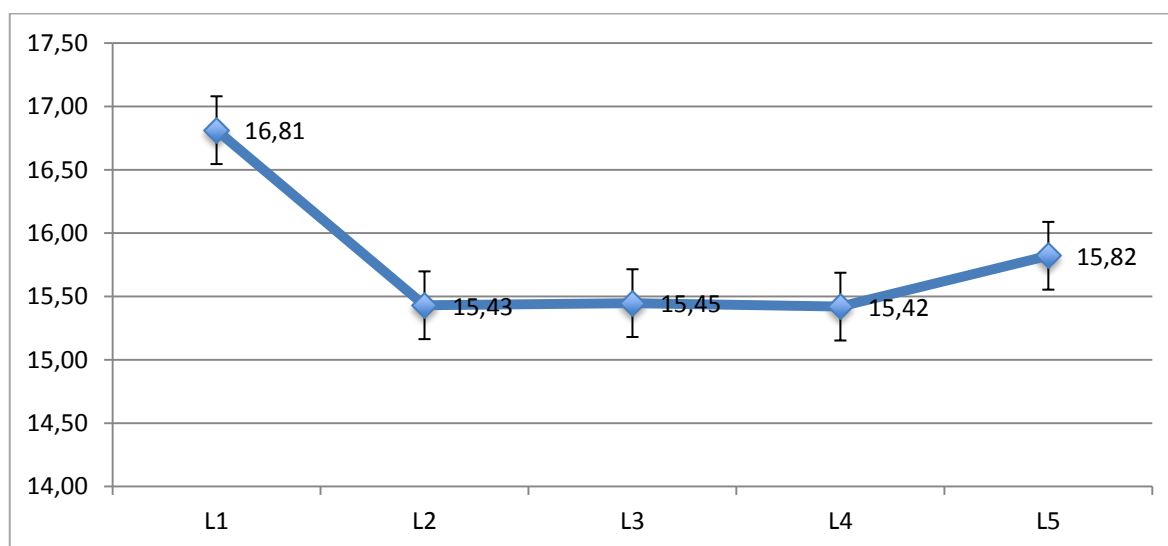


Figura 68. Comparación gráfica de los promedios de la altura de cada pedículo, según vértebra lumbar (L1-L5), mediante Tomografía Axial Computarizada. n= 30 pacientes. Fuente: TAC.

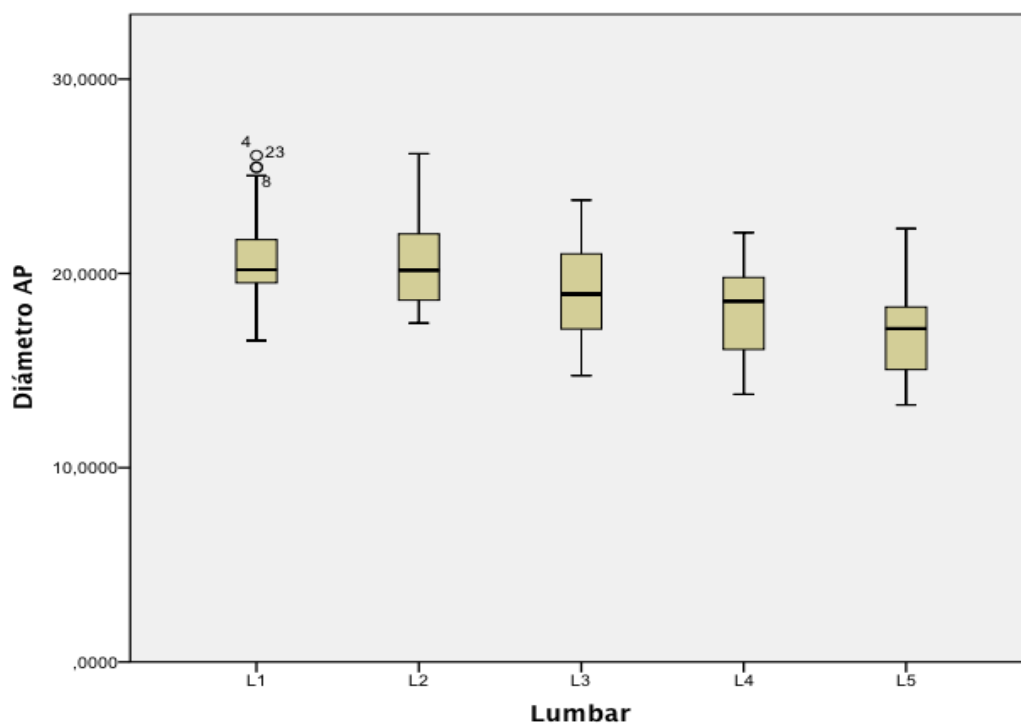


Figura 69. Diagrama de cajas para el diámetro AP pedicular, según vértebra lumbar (L1-L5), mediante Tomografía Axial Computarizada. n= 30 pacientes. Fuente: TAC.

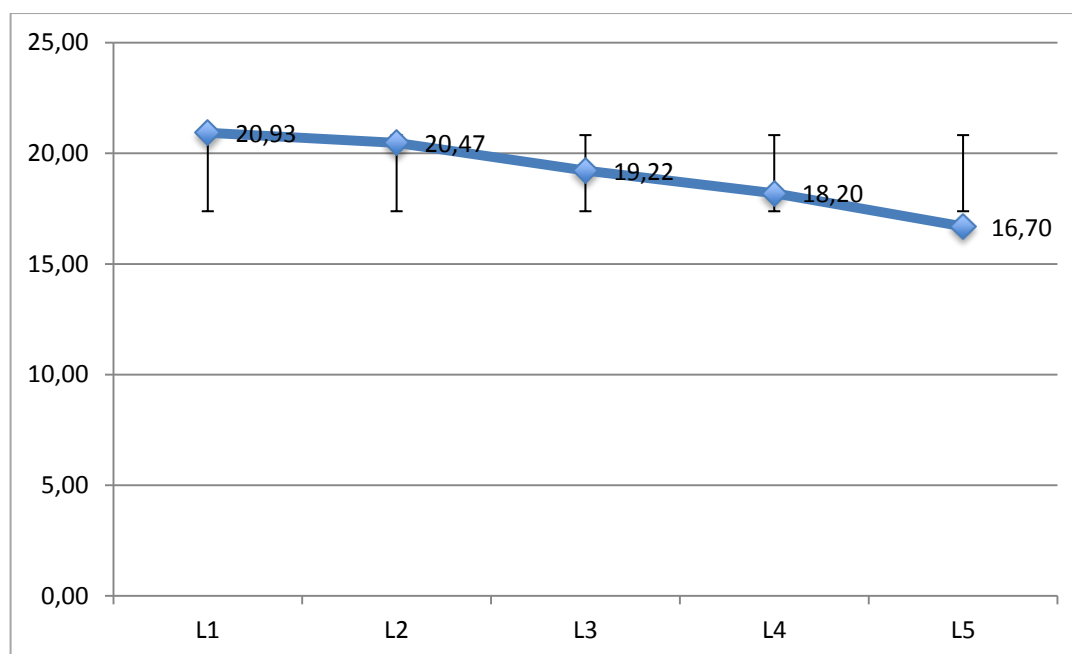


Figura 70. Comparación gráfica de los promedios del diámetro AP de cada pedículo, según vértebra lumbar (L1-L5), mediante Tomografía Axial Computarizada. n= 30 pacientes. Fuente: TAC.

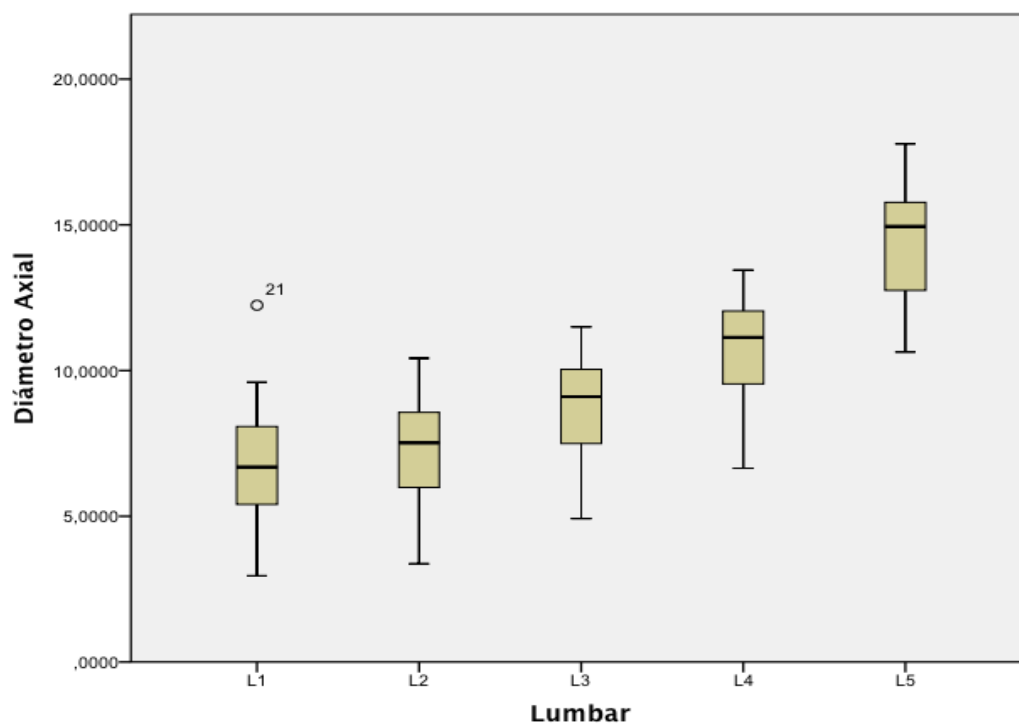


Figura 71. Diagrama de cajas para el diámetro axial pedicular, según vértebra lumbar (L1-L5), mediante Tomografía Axial Computarizada. n= 30 pacientes. Fuente: TAC.

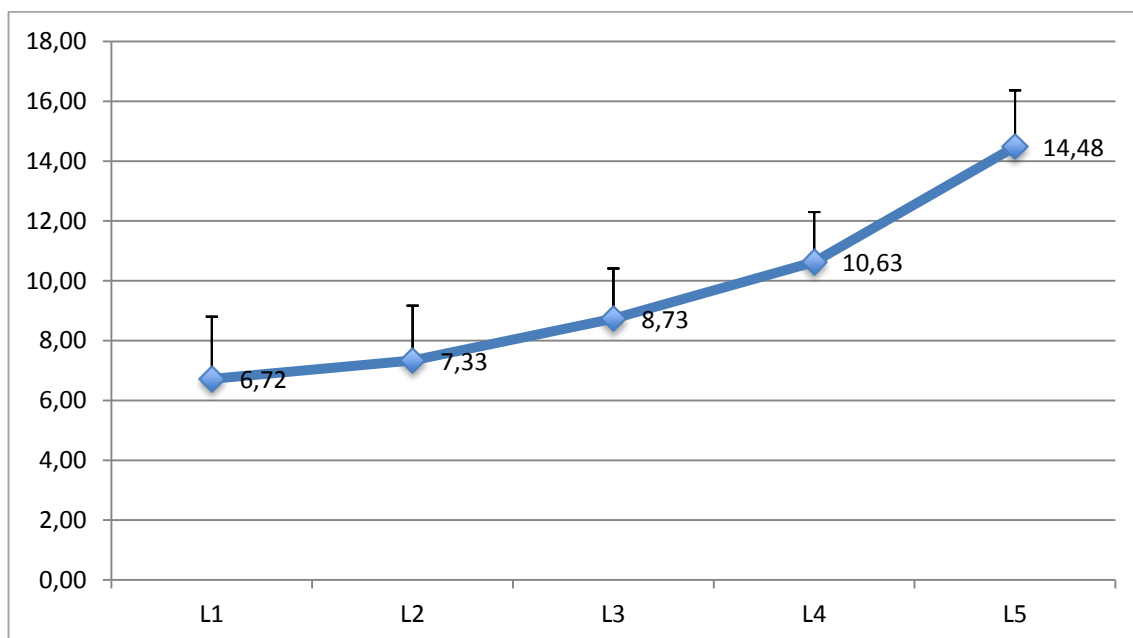


Figura 72. Comparación gráfica de los promedios del diámetro axial de cada pedículo, según vértebra lumbar (L1-L5), mediante Tomografía Axial Computarizada. n= 30 pacientes. Fuente: TAC.

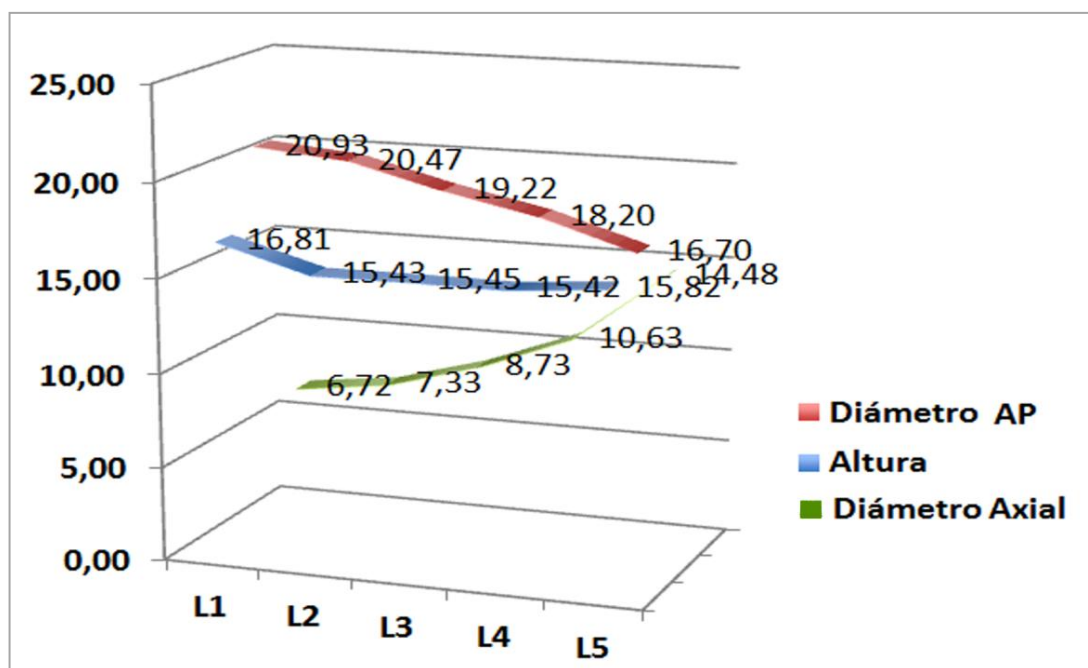


Figura 73. Comparación gráfica de los valores promedios de las variables estudiadas, según vértebra (L1-L5), mediante Tomografía Axial Computarizada. AP: antero-posterior. n= 30 pacientes. Fuente: TAC.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MEDICIONES EN EL CADÁVER Y SOBRE TAC

Finalmente, al contrastar cada uno de los resultados obtenidos en el TAC contra lo determinado antropométricamente en las autopsias realizadas, se puede observar, mediante el contraste por pruebas de hipótesis para medias (test de la *t* de Student) a una confiabilidad del 95%, que la única variable que muestra diferencias estadísticamente significativas en todas las vértebras lumbares es la denominada longitud del pedículo, en el cadáver, o diámetro AP, en el TAC (Tabla 23).

De otra parte, las vértebras lumbares L4 y L5 también presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones registradas por ambos métodos en la variable denominada anchura del pedículo en el cadáver, o diámetro axial en el TAC (Tabla 23).

Tabla 23. Análisis comparativo entre las mediciones antropométricas realizadas en el cadáver y las determinadas por TAC en las diferentes vértebras lumbares.

Vértebra	Autopsia		TAC		P
	Variable	Media \pm SD	Variable	Media \pm SD	
L1	Longitud	7.4 \pm 2.2	Diam. AP	20.9 \pm 2.4	p<0.0001
	Anchura	5.7 \pm 1.1	Diam. Axial	6.7 \pm 2.1	NS
	Altura	16.2 \pm 0.8	Altura	16.8 \pm 1.6	NS
L2	Longitud	7.3 \pm 1.6	Diam. AP	20.5 \pm 2.2	p<0.0001
	Anchura	6.5 \pm 1.2	Diam. Axial	7.3 \pm 1.8	NS
	Altura	15.2 \pm 1.5	Altura	15.4 \pm 1.7	NS
L3	Longitud	7.3 \pm 1.6	Diam. AP	19.2 \pm 2.4	p<0.0001
	Anchura	7.7 \pm 1.5	Diam. Axial	8.7 \pm 1.7	NS
	Altura	15.0 \pm 2.0	Altura	15.4 \pm 1.4	NS
L4	Longitud	6.8 \pm 1.2	Diam. AP	18.2 \pm 2.3	p<0.0001
	Anchura	8.4 \pm 1.8	Diam. Axial	10.6 \pm 1.7	P<0.005
	Altura	15.9 \pm 5.5	Altura	15.4 \pm 2.0	NS
L5	Longitud	7.0 \pm 1.2	Diam. AP	16.7 \pm 2.3	p<0.0001
	Anchura	11.3 \pm 4.1	Diam. Axial	14.5 \pm 1.9	P<0.005
	Altura	14.7 \pm 2.2	Altura	15.8 \pm 2.4	NS

Diam. AP: diámetro antero-posterior. n=30. Medidas en mm.

DISCUSIÓN

En los últimos años, el número de pacientes que presentan enfermedades degenerativas de la columna vertebral lumbar se está incrementado, lo que parece ser una consecuencia natural del aumento en la expectativa de vida de la que goza la población en la actualidad. A nivel mundial la dorsolumbalgia representa un problema de proporciones epidémicas. Se estima que entre el 70% y el 90% de la población general sufre dolor de espalda bajo (lumbalgia) en algún momento de su vida y, aproximadamente, el 4% requiere en algún momento la aplicación de alguna técnica quirúrgica.^{42,43}

En México la lumbalgia representa la causa número uno de ausencia laboral, lo que trae como consecuencia una baja en la actividad productiva de la población económicamente activa.¹⁴¹

El pedículo vertebral ha sido objeto de investigación primero por los anatomistas clásicos Gallois y Japiot, en su trabajo "*Architecture interieure des vertebres*" y, posteriormente, por Saillant,¹²¹ quien fue el primero que se preocupó por conocer las características anatómicas de las vértebras con el fin de introducir tornillos transpediculares, reflejándolo en su trabajo clásico "*Etude anatomique des pedicules vertebraux. Application chirurgicale*", en 1976 (citado por Alfonso Olmos *et al.*⁴).

Es a partir de la década de los setenta cuando Roy-Camille *et al.*¹¹⁷ (citado por Alfonso Olmos *et al.*⁴) introducen el concepto y aplicación de los tornillos transpediculares con el fin de corregir la inestabilidad vertebral segmentaria. Con la llegada del TAC se han efectuado numerosos estudios de la morfología, características morfométricas y anatomía topográfica de las distintas regiones que conforman la columna vertebral por medición directa y tomografía computarizada. Estas investigaciones se han realizado en diversas poblaciones a lo largo del orbe para deducir sus dimensiones reales, encontrándose que éstas son equivalentes en ambos métodos de medición.⁴

El tamaño del pedículo de la región lumbar difiere entre las diferentes etnias y razas. Actualmente existen estudios de las características morfométricas del pedículo lumbar en poblaciones de Norteamérica, India, Corea, Grecia, Malasia, Japón, Brasil y España.^{1,2,4,25,31,58,69,82,92,95,154}

Krogman⁶² (1978) estableció que así como muchas de las variaciones en el esqueleto son bien conocidas, no parece ocurrir lo mismo con aquellas relacionadas con la morfología y el tamaño de los pedículos vertebrales, donde pueden existir variaciones poblacionales en cuanto a sus características morfométricas e, inclusive, dentro de la misma población pueden presentarse estas variaciones en cuanto al tamaño, la forma y la angulación del pedículo respecto a la línea media.

La fijación del cuerpo vertebral con tornillos transpediculares es la técnica de fijación más comúnmente utilizada en los procedimientos de fusión espinal posterolateral. En la actualidad, existen varios sistemas de fijación transpedicular cuyo objetivo radica en obtener una fijación adecuada de uno o varios niveles vertebrales afectados, por medio de la fijación del cuerpo vertebral a través del pedículo desde su cara posterior; el éxito de estos procedimientos de fijación vertebral estriba en la capacidad del tornillo para dar y mantener el agarre suficiente dentro del cuerpo vertebral.^{43,72,73}

Varios son los factores que intervienen en la correcta fijación de un implante pedicular, e incluyen la longitud y el diámetro del implante, la angulación, la tecnología con la que se realiza el procedimiento, así como la calidad del hueso que alojará el implante pedicular (osteoporosis u otros padecimientos desmineralizantes). El diámetro del implante resulta un factor en especial determinante para lograr una correcta fijación.¹⁰⁷

Para Misenhimer *et al.*,⁸¹ el pedículo es solo una delgada cáscara de hueso cortical lleno de hueso esponjoso y no una fuerte cortical con una pequeña cantidad de hueso esponjoso, como se pensaba antes de su estudio.⁸¹ Este hecho anatómico hace que los pedículos vertebrales actúen a manera de un puente con un núcleo central débil, siendo por tanto susceptibles a su penetración por el implante pedicular; penetración que se convierte en la vía de acceso directo hacia el cuerpo vertebral.

El pedículo vertebral lumbar presenta características que lo hacen único respecto al de las demás regiones que conforman la columna vertebral, dado que el pedículo lumbar no muestra simetría en cuanto a su constitución.³¹

Las paredes corticales laterales y mediales del pedículo vertebral lumbar presentan diferencias en cuanto a su espesor, siendo este mayor en la cortical medial que en la lateral, de tal modo que la pared cortical lateral fluctúa entre 0.4 y 0.6 mm y, la pared medial, entre 0.9 y 1.7 mm,⁶¹ remarcando la asimetría existente en la morfología del pedículo. Las paredes corticales superior e inferior también presentan asimetría entre ellas; siendo mayor la primera con valores que oscilan entre 1.00 y 1.75 mm comparados con los de la cortical inferior cuyos valores oscilan entre 0.9 y 1.25 mm. Misenhimer *et al.*⁸¹ (1989) establecen que la pared cortical lateral del pedículo lumbar es más propensa a sufrir deformidades o fracturas al ser menor su espesor, en comparación con la pared cortical medial.

En cuanto a su morfología, el pedículo vertebral lumbar no tiene forma cilíndrica como convencionalmente se menciona; si no que los diámetros verticales y horizontal le confieren una forma ovalada, cuyas dimensiones tienden a aumentar a expensas de su núcleo de hueso esponjoso en dirección cráneo-caudal; hecho posiblemente relacionado con las cargas fisiológicas a las que es expuesta la vértebra conforme desciende el nivel vertebral.³¹

El pedículo actúa transmitiendo y equilibrando las fuerzas de carga entre el cuerpo y el arco vertebral. Pal y Routal⁹⁷ (1987) establecen que el peso es transmitido a través de la columna torácica y lumbar por medio de dos columnas verticales continuas; la primera formada por los cuerpos vertebrales y discos intervertebrales correspondientes, y, la segunda, por las articulaciones efectuadas entre las facetas articulares superiores e inferiores y el complejo de ligamentos existentes en el arco vertebral.

La transmisión de fuerzas compresivas entre el cuerpo y el arco vertebral se lleva a cabo a través del pedículo, que actúa como un puente entre las dos columnas ya mencionadas. Debido a la curvatura primaria anterior existente en la región torácica, la distribución de cargas se hace desde los arcos vertebrales hacia el cuerpo vertebral gracias a la inclinación que presentan los pedículos en dicha región. Esta transmisión de fuerzas se produce de manera inversa en la región lumbar, es decir, desde los cuerpos vertebrales hacia el arco vertebral a través del pedículo, debido a que esta región presenta una curvatura secundaria posterior y una alineación casi horizontal de los pedículos. Schneck¹²³ (1989) determina que el pedículo de la quinta vértebra lumbar (L5) tiene como función secundaria la de evitar el deslizamiento de L5 sobre S1.

En el trabajo de Prakash *et al.*¹⁰⁵ (2007) se muestran, mediante un estudio radiográfico, los cambios que sufre el pedículo con la edad, estableciéndose que el diámetro pedicular cortical de todas la vértebras lumbares es mayor en las mujeres en un grupo de edad entre 10 y 20 años. En el resto de los grupos de edad (mayores de 20 años) todas las vértebras estudiadas obtuvieron dimensiones significativamente mayores en varones.

Cuatro son los parámetros que deben ser tomados en cuenta para que el tornillo transpedicular sea insertado adecuadamente y cumpla con su función: el tornillo debe tener una longitud y anchura adecuadas, debe ser colocado con una

angulación ideal y tener una longitud suficiente; cualquier alteración en alguno de estos cuatro parámetros acarrearía complicaciones agudas y crónicas, entre las que destacan: malposición de los tornillos, expansión, deformidad y/o fractura del pedículo vertebral, desconexión del sistema de fijación, estenosis de los segmentos adyacentes a la fijación, déficit neurológico, persistencia y agravamiento del dolor, persistencia de estenosis, rotura de los tornillos transpediculares, fibrosis perirradicular y dolor neuropático.⁴⁷

Los estudios realizados en TAC han concluido que el ancho pedicular cortical está representado en un 20% a 30% por hueso compacto, y en un 70 a 80% por hueso esponjoso.⁴

El diámetro pedicular endostal se define como la distancia que existe entre ambos bordes mediales de las corticales, y es en este espacio donde debe alojarse el tornillo en su paso hacia el cuerpo vertebral. Misenhimer *et al.*⁸¹ (1989) establecen la existencia de cambios en el 83% de los pedículos cuando el diámetro endostal medido por TAC es sobrepasado por el del tornillo; así mismo, demuestra un 97% de cambios en el tamaño externo del pedículo cuando el diámetro del tornillo es mayor del 80% del ancho pedicular cortical.

Sjöström *et al.*¹³⁰ (1993), a partir de los datos obtenidos en su estudio, refieren que los tornillos con un diámetro mayor del 65% del diámetro pedicular cortical deforman el pedículo en el 85% de los casos. En este sentido, queda claro que es crucial poder determinar el diámetro que deberá tener el tornillo a implantar y, para ello, se debe tener en cuenta que es posible calcular el diámetro pedicular endostal conociendo el diámetro pedicular cortical, siguiendo la premisa de que el primero corresponde al 70-80% del segundo.

Cuando el diámetro del tornillo sobrepasa el diámetro pedicular endostal la biomecánica desempeña un papel importante, ya que se produce una expansión

progresiva del pedículo (por expansión plástica) con la consecuente fractura del pedículo por el paso de la rosca del tornillo.⁸¹

En cuanto al diámetro del tornillo, Zindrick *et al.*¹⁵⁵ (1986) establecieron que los tornillos con un diámetro mayor son más fuertes y dan mejores resultados a largo plazo. El rendimiento del tornillo también está influenciado por las variables geométricas de su diseño. Se ha referido que pueden lograrse mejoras en la resistencia del tornillo durante la extracción mediante un aumento en las dimensiones del diámetro mayor del tornillo.¹³¹

La decisión del diámetro del tornillo está determinada por el diámetro mínimo horizontal del pedículo (diámetro pedicular endostal), mientras que la vía que seguirá el tornillo está determinada por los diámetros corticales del pedículo (altura y anchura).¹²⁹

Chaynes *et al.*²³ (2001) determinaron que el diámetro pedicular cortical es la variante principal para la elección del diámetro que deberá tener el tornillo a implantar. Goel *et al.*⁴⁶ (2005) establecieron que la fuerza de interfase entre el hueso y el tornillo, para un tamaño de tornillo dado, aumenta con la profundidad de penetración del tornillo, es decir, cuanto más largo sea el implante pedicular (sin rebasar la cortical anterior del cuerpo vertebral), mayor fuerza de agarre tendrá el tornillo.

Brantley *et al.*¹⁹ (1994) demostraron que no solamente el diámetro del implante pedicular determina el grado de fijación, sino también el grado en el que el tornillo rellena el pedículo a la sección transversal del mismo, es decir, el grado en que la forma del implante se amolda a la arquitectura interna del pedículo. Por ello, en los últimos años se han llevado a cabo numerosos estudios de biomecánica para determinar la forma ideal que deberán tener los implantes pediculares a utilizar.

En nuestro estudio, la anchura cortical pedicular mostró un incremento progresivo y proporcional de L1 a L5 en todas las vértebras estudiadas; de forma que el menor diámetro pedicular se encontró en L1, con un valor promedio de 5.73 mm (Tabla 10), y el mayor diámetro pedicular cortical se obtuvo en L5, con una media de 11.34 mm (Tabla 14). El incremento de la anchura del pedículo lumbar mantiene relaciones de proporción entre los niveles adyacentes, siendo el menor entre L3 y L4 con un aumento del 10.1%, y el mayor, entre L4 y L5 con un incremento del 34.4%, como se resume en la Tabla 15.

La diferencia entre varones y mujeres respecto a la anchura del pedículo vertebral lumbar ha sido objeto de debate; algunos estudios concluyen que la anchura pedicular cortical siempre es mayor en hombres a expensas del hueso esponjoso, no existiendo una diferencia significativa en cuanto al espesor del hueso cortical; otros autores indican que esta diferencia no existe.¹⁴²

En nuestro estudio la totalidad del material cadavérico estudiado fue del sexo masculino debido a la disponibilidad de los cadáveres, circunstancia que habrá que tener en cuenta como posible factor limitante del estudio. Respecto a la diferencia existente entre la anchura de los pedículos derecho e izquierdo de la misma vértebra, éstos nunca tienden a tener las mismas dimensiones; sin embargo, estas diferencias son tan mínimas que la mayoría de los autores refieren la no existencia de diferencias significativas entre ambos y los manejan como un valor único (el valor promedio de las dimensiones de ambos pedículos). Este hecho ha sido constatado por los datos de nuestro estudio.

La anchura pedicular cortical en el presente estudio obtuvo valores inferiores a los descritos por otros estudios realizados en diferentes poblaciones (Tabla 24). Con respecto a la vértebra L1, el valor más cercano fue el obtenido por Wolf *et al.*¹⁵⁰ (2001) en población israelí con un valor de 5.6 mm comparado con los 5.7 mm obtenidos en el presente estudio.

Tabla 24. Anchura cortical del pedículo vertebral lumbar en distintas poblaciones.

Estudio Población,Año	Método	L1	L2	L3	L4	L5
Lien <i>et al.</i> ⁶⁷ China, 2006	Directo	6.4 ±1.6	7.4 ±1.7	9.3 ±1.9	11.6 ±2.1	17.5 ±2.6
Alfonso Olmos <i>et al.</i> ⁴ Española, 2002	TAC	---	---	8.7 ± 2.2	11.5 ± 2.1	16.3 ± 2.5
Amonoo-Kuofi ⁵ Saudí, 1995	Directo	8.7	9.0	10.5	11.1	12.5
Singel <i>et al.</i> ¹²⁴ Indú. 2004.	Directo	8.2 ± 6.7	8.5 ± 6.5	10.4 ± 7.0	13.5 ± 7.0	18.2 ± 9.7
Olsewski <i>et al.</i> ⁹² Norteamericana, 1990	Directo	7.7 ± 1.9	7.9 ± 1.9	9.6 ± 2.4	12.5 ± 2.3	18.4 ± 3.6
Wolf <i>et al.</i> ¹⁴⁵ Israelí, 2001	TAC	5.6 ± 1.3	7.7 ± 1.5	8.9 ± 1.9	11.4 ± 1.8	13.7 ± 2.2
Cortés González* Mexicana, 2013	Directo	5.7 ± 1.1	6.4 ± 1.1	7.6 ± 1.4	8.4 ± 1.8	11.3 ± 4.0

*: Datos de la presente Tesis Doctoral. Medidas expresadas en milímetros (mm).

Respecto a la vértebra L2, cabe destacar que en la mayoría de los estudios realizados hasta el momento el diámetro pedicular cortical tiende a aumentar entre 0.2 y 0.5 mm respecto al de L1; en nuestro estudio el ancho del pedículo de L2 aumentó en 0.7 mm, valor comparable al obtenido por Lien *et al.*,⁷⁰ (2007) con un incremento de 1.0 mm.

En nuestro trabajo, los valores obtenidos en el ancho de L3 son inferiores a los de otros estudios, variando entre 1.1 a 2.4 mm respecto al resultado promedio mínimo y máximo obtenido por Alfonso Olmos *et al.*⁴ (2002), en población española, y Singel *et al.*¹²⁹ (2004), en población hindú.

En resumen, de todas las publicaciones consultadas, el trabajo realizado por Wolf *et al.*¹⁵⁰ (2001) es el que obtiene los resultados más parecidos a nuestro estudio en cuanto al diámetro pedicular cortical (Tabla 24).

El ancho pedicular cortical en la población mexicana tiende a ser menor que el descrito en otras poblaciones; por ello, las medidas de los implantes pediculares convencionales que existen actualmente en el mercado pudieran no ser adecuados para nuestra población. La determinación del ancho pedicular cortical con un TAC preoperatorio mostraría las características morfométricas del pedículo vertebral lumbar, y permitiría proporcionar un abordaje individualizado para cada paciente evitando, de esta manera, las complicaciones postquirúrgicas ya mencionadas.

La altura del pedículo vertebral lumbar, determinada en nuestro estudio sobre población mexicana mediante medición directa de la vértebra, muestra un patrón irregular de proporción entre los diferentes niveles que conforman la columna lumbar. El valor máximo de la altura del pedículo (diámetro vertical) fue obtenido a nivel de L1 (16.2 mm), y el mínimo, a nivel de L5 (14.7 mm) (Tablas 10-14).

En general, en nuestra investigación, la altura del pedículo tiende a disminuir respecto al nivel inmediatamente superior, con excepción del nivel vertebral L3-L4 donde existió un aumento en la altura de 0.9 mm.

Numerosos son los estudios que investigan la altura del pedículo vertebral lumbar en diversas poblaciones (Tabla 25). La mayoría de estos estudios, al igual que el nuestro, muestran un patrón de proporción irregular en sentido cráneo-caudal, donde no existe una clara tendencia en las dimensiones. Este dato contrasta con la anchura pedicular cortical, donde los valores aumentan conforme desciende el nivel vertebral lumbar.

La altura promedio del pedículo de L1 obtenida en nuestro estudio es mayor a las referidas en otras investigaciones; el valor más cercano es el registrado por Olsewski *et al.*⁹⁵ en población caucásica de Estados Unidos de Norteamérica, con un valor de 15.3 mm, comparado con los 16.1 mm obtenidos en el presente

trabajo. De otra parte, la altura del pedículo de la vértebra L5 presentó el valor más bajo en nuestra serie; este hecho es similar al descrito por Lien *et al.*,⁷⁰ pero difiere del resto de estudios realizados en otras poblaciones, donde esta vértebra es la que obtiene los mayores valores en cuanto a la altura del pedículo se refiere.

Tabla 25. Altura cortical (diámetro vertical) del pedículo vertebral en distintas poblaciones.

Estudio Población, Año	Método	L1	L2	L3	L4	L5
Lien <i>et al.</i> ⁶⁷ China, 1996	Directo	13.7 ± 1.5	14.1 ± 1.8	13.9 ± 1.7	13.0 ± 2.3	12.7 ± 2.1
Olsewski <i>et al.</i> ⁹² Norteamericana, 1990	Directo	15.3 ± 2.0	15.3 ± 2.0	15.0 ± 1.5	14.9 ± 1.5	16.2 ± 1.9
Aruna ⁹ Hindú, 2011	Directo	14.8	14.4	14.1	13.8	17.5
Wolf <i>et al.</i> ¹⁴⁵ Israelí, 2001	TAC	15.1 ± 1.9	14.8 ± 1.6	14.5 ± 1.9	14.8 ± 2.1	15.6 ± 2.3
Amonoo-Kuofi ⁵ Saudí, 1995	Directo	16.3	15.3	15.9	16.1	17.5
Singel <i>et al.</i> ¹²⁴ Hindú, 2004.	Directo	14.7 ± 4.3	15.0 ± 4.6	14.7 ± 3.5	14.0 ± 4.0	13.4 ± 6.0
Cortés González* Mexicana, 2012	Directo	16.1 ± 0.8	15.2 ± 1.5	14.9 ± 1.9	15.8 ± 5.5	14.7 ± 2.2

* : Datos de la presente Tesis Doctoral. Medidas expresadas en milímetros (mm).

Christodoulou *et al.*,²⁵ (2005) establecen que existe una gran variación en las vértebras L1, L2 y L5 entre las diferentes razas y etnias, pero en L3 y L4 solo existe una mínima variación. Esto sugiere que las variaciones descritas ocurren más en las vértebras de transición entre la región torácica, superiormente, y la sacra, inferiormente.

La longitud del pedículo vertebral lumbar fue el parámetro que obtuvo la menor variación entre los diferentes niveles lumbares (Tablas 10 a 14). L4 obtuvo

el resultado más bajo (6.85 mm), mientras que L1 obtuvo el mayor (7.39 mm). La longitud del pedículo tiende a decrecer de L1 a L4, sufriendo un ligero aumento de L4 a L5. Esta variación podría sugerir que la longitud del pedículo vertebral lumbar, o diámetro antero-posterior, disminuye a expensas del aumento gradual en su diámetro horizontal; hecho posiblemente relacionando con las grandes cargas fisiológicas a las que están expuestas las vértebras lumbares.

Las dimensiones del cuerpo vertebral (altura, diámetro transverso y diámetro antero-posterior) son de utilidad para la valoración normal de las vértebras de la región lumbar. El diámetro antero-posterior de la superficie superior del cuerpo de las vértebras lumbares tiende a aumentar progresivamente desde L1 (31.23 mm) a L5 (34.02 mm). El diámetro transverso también aumenta progresivamente de L1 (40.47 mm) a L5 (45.18 mm). La altura de los cuerpos vertebrales es el parámetro de menor variación dentro de los cuerpos vertebrales, con un rango que varía en solo 1.18 mm entre el menor resultado de L3 y el mayor valor de L5.

Los demás parámetros de medición (laminae, apófisis articulares superiores e inferiores, apófisis espinosas y apófisis transversas) son de menor importancia en cuanto a la cirugía de fusión espinal se refiere, pero son de vital importancia en el diseño de prótesis, cirugía robótica y planeamiento de la cirugía; las medidas antropométricas de cada una de ellas se detallan en las Tablas 10 a 14.

En la presente Tesis Doctoral, cuando evaluamos los diámetros pediculares mediante TAC en pacientes vivos, observamos que la altura se mantiene similar en las cinco vértebras lumbares, siendo L1 la que presenta el mayor valor, pero sin diferencias estadísticamente significativas. El diámetro antero-posterior, o longitud del pedículo, muestra una disminución leve y paulatina conforme desciende el nivel lumbar. El diámetro axial presenta un comportamiento inverso, aumentando de una manera más brusca y constante conforme se desciende en las vértebras

lumbares. No obstante, en las tres mediciones del pedículo, es L5 la que exhibe una mayor variabilidad con respecto a las precedentes.

El comportamiento descrito es el que cabría esperar a este nivel vertebral, debido a que conforme descendemos en la columna, la cantidad de peso y esfuerzo por parte de la estructura ósea vertebral aumenta, lo que genera la necesidad de que el pedículo se comporte de esta manera, permitiéndole además unirse posteriormente al sacro. Sin embargo, la amplia variabilidad de la altura de L5 nos muestra que es a este nivel de unión donde existen los distintos ajustes de la anatomía vertebral lumbar, esto posiblemente causado no solo por las variaciones mínimas particulares, dictadas por el genotipo de cada individuo, sino además por los factores posturales, nutrimentales y de requerimientos físicos a los que individualmente la persona se ha sometido.

Finalmente en lo concerniente al TAC, se observó que los valores obtenidos mediante esta técnica de imagen diagnóstica pueden ser significativamente mayores a lo observado en la antropometría directa utilizada en este estudio. La explicación más plausible es que al estar el sujeto vivo, los tejidos se encuentran en plenitud, aunado además a la sensibilidad propia del estudio, los ángulos y movimientos en los que el haz de energía se desplazan y las variaciones (de *software*) que pueden existir en el sistema que evalúa las distancias.

Los tornillo transpediculares que utilizamos poseen un diámetro de 3.5 mm a 5.5 mm de apertura lateral o apertura dorsal, con longitudes que varían entre los 35.0 mm a 55.0 mm, por lo que a este nivel vertebral se presenta una mayor comodidad en cuanto a la seguridad del uso de los mismos en la vértebras lumbares, con menor riesgo de dañar el canal medular o cualquier otra estructura que pudiese generar una complicación futura; sin embargo, la gran variabilidad observada en la altura por la necesidad del área lumbar para unirse al sacro, y las variaciones observadas entre la realidad ósea en el cadáver y lo expuesto por el

TAC, nos demuestran que no es posible confiarse y que se requiere cautela, precisión y experiencia por parte del neurocirujano para el adecuado manejo de los tornillos transpediculares en nuestra población.

Todos estos datos no hacen sino remarcar la necesidad, como ya han adelantado otros autores,^{22,43,73} de realizar un TAC preoperatorio para valorar las características morfométricas del pedículo vertebral lumbar antes de la cirugía. De esta manera podremos individualizar la terapéutica quirúrgica en cada paciente, eligiendo el material (medidas del tornillo transpedicular) y la técnica más adecuada y, de esta manera, intentar evitar las posibles complicaciones postoperatorias.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Primera.** Los implantes pediculares disponibles actualmente en el mercado mexicano son adecuados para la población en general, en cuanto al diámetro horizontal de los mismos se refiere.
- Segunda.** Las características morfométricas del pedículo vertebral lumbar en la población mexicana son significativamente similares entre todas las vértebras lumbares, con excepción de la quinta vértebra lumbar que presenta ciertas características diferenciales en términos estadísticos.
- Tercera.** El diámetro de los pedículos, tanto en anchura como en altura, aumenta paulatinamente desde la primera hasta la quinta vértebra lumbar.
- Cuarta.** La quinta vértebra lumbar presenta una serie de características particulares, entre las que destaca su mayor grosor, lo que le dota de un mayor rango de seguridad y estabilidad en la colocación de tornillos durante un procedimiento quirúrgico.
- Quinta.** Las características morfométricas de las vértebras lumbares distintas al pedículo estudiadas por nosotros, pueden ser de utilidad para el desarrollo de prótesis, cirugía robótica, el desarrollo de la cirugía de fusión lumbar y cualquier procedimiento que involucre la región lumbar como blanco quirúrgico o diagnóstico.

RESUMEN

RESUMEN

Introducción. El número de pacientes con enfermedades degenerativas de la columna vertebral se ha incrementado de forma importante en los últimos años, debido a las modificaciones del estilo de vida y patrones de comportamiento, así como al aumento en la expectativa de vida. De la misma manera, la cantidad de recursos económicos destinados a la prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de los pacientes con estas patologías se ha intensificado en los últimos años.

Una de las opciones disponibles para el tratamiento quirúrgico de la patología vertebral es la instrumentación de la columna por vía transpedicular. En la actualidad, la cirugía de fusión vertebral por vía transpedicular representa la técnica de fijación más comúnmente utilizada para el tratamiento quirúrgico de patologías vertebrales de cualquier índole. Entre las ventajas de este procedimiento se encuentran la estabilización de los segmentos vertebrales afectados, la reducción de complicaciones postoperatorias y el corto tiempo de estancia hospitalaria, así como un buen grado de mejoría clínica.

Las características morfométricas de las vértebras, y en especial del pedículo, determinan el tamaño de los implantes pediculares tanto en anchura como en longitud, así como la forma, dirección y angulación ideal del tornillo en el momento de su introducción. Es importante para el cirujano el conocimiento de estas características para evitar lesiones de la corteza pedicular, meninges, raíces nerviosas, facetas articulares, vísceras o estructuras vasculares adyacentes debidas a la colocación u orientación incorrecta de los tornillos.

Objetivos. Determinar las características morfométricas de los pedículos vertebrales lumbares en la población mexicana, mediante medición directa de

especímenes cadavéricos y tomografía axial computarizada (TAC), y determinar si éstas son similares entre sí.

Material y Métodos. Estudio observacional, transversal y descriptivo. Se analizaron 30 columnas vertebrales lumbares (L1 a L5, 150 vertebras, 300 pedículos) provenientes de cadáveres pertenecientes al Departamento de Anatomía Humana de la Facultad de Medicina de la UANL, género masculino con un rango de edad entre 18 y 70 años y 30 tomografías computarizadas de columna vertebral lumbar. Utilizando un Vernier digital con una precisión de 0.01 mm, se determinó mediante medición directa en especímenes cadavéricos la altura, anchura y longitud del pedículo vertebral, así como los demás elementos vertebrales lumbares de manera bilateral.

De la misma forma, utilizando una estación de trabajo computacional se determinaron las características morfométricas del pedículo vertebral lumbar en las tomografías computarizadas de columna lumbar. Se determinó la media, desviación estándar, mediana, moda, resultado mínimo y resultado máximo para cada parámetro de medición. De la misma se corrieron pruebas de correlación paramétrica (con un valor de “p” considerado como significativo menor al 0.05%) para comparar los resultados de los diferentes parámetros entre los diferentes niveles vertebrales entre sí en un mismo método de medición (medición osteológica o TAC), y el mismo nivel vertebral entre los dos tipos de métodos de medición. Los resultados fueron tabulados en tablas y gráficas.

Resultados. En el grupo de medición directa en especímenes cadavéricos la anchura cortical pedicular mostró un incremento progresivo y proporcional de L1 a L5 en todas las vértebras estudiadas; el ancho pedicular cortical menor obtuvo un valor promedio de $5.73 \text{ mm} \pm 1.10$ en L1 y un ancho pedicular cortical mayor de $11.34 \text{ mm} \pm 4.06$ en L5. En el grupo de TAC el resultado menor fue en L1 con un

valor de $6.72 \text{ mm} \pm 2.07$ y un resultado máximo en L5 con un valor de $14.47 \text{ mm} \pm 1.08$.

La altura pedicular cortical en el grupo de medición directa de piezas cadavéricas obtuvo un valor promedio mínimo de $14.74 \text{ mm} \pm 2.24$ en L5 y un valor promedio máximo de $16.18 \text{ mm} \pm 0.80$ en L1. El grupo de medición mediante TAC obtuvo un valor promedio mínimo de $15.42 \text{ mm} \pm 1.98$ en L5 y el valor máximo de $16.57 \text{ mm} \pm 1.58$ en L1. Se obtuvo una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los distintos niveles vertebrales dentro de un mismo grupo de medición. Las comparaciones del mismo nivel vertebral entre los dos tipos de medición realizadas para todos los grupos no mostraron diferencias estadísticamente significativas.

Se analizaron 30 pacientes mediante TAC, el promedio de altura observado de L1 a L5 fue 16.8, 15.4, 15.4, 15.4 y 15.8; en cuanto al diámetro AP los resultados fueron 20.9, 20.5, 19.2, 18.2 y 16.7; finalmente, el diámetro axial mostró los promedios 6.7, 7.4, 8.7, 10.6 y 14.5, respectivamente. Al contrastar los valores de la autopsia contra el TAC, observamos un promedio mayor en el TAC para la longitud en L1, L2 y L3, así como longitud y anchura para L4 y L5 ($p < 0.05$ en todos los casos).

Discusión. La anchura pedicular cortical en el presente estudio obtuvo valores inferiores a los reportados por otros estudios realizados en otras poblaciones, mientras que la altura pedicular cortical, al igual que el resto de los estudios en otras poblaciones, obtuvo variaciones irregulares entre los distintos niveles vertebrales que conforman la columna vertebral lumbar. Los demás parámetros de medición (laminae, apófisis articulares superiores e inferiores, apófisis espinosas y apófisis transversas) son de menor importancia en cuanto a la cirugía de fusión espinal se refiere, pero aún así tienen vital importancia en cuanto al diseño de prótesis, cirugía robótica y planeamiento de la cirugía.

Conclusiones. Los implantes pediculares que actualmente se encuentran en el mercado mexicano son adecuados para la población en general en cuanto al diámetro horizontal de los mismos se refiere. Las características morfométricas del pedículo vertebral lumbar en población mexicana son significativamente similares entre ellas, en lo correspondiente las medidas realizadas en las mismas, con excepción de la L5 que presenta ciertas características estadísticamente diferentes. El ancho de los pedículos desde L1 hasta L5 van aumentando paulatinamente de tamaño, la altura tiende a disminuir de tamaño de L1 a L5. La vértebra L5 por sus características particulares de mayor grosor, presenta mayor rango de seguridad y estabilidad, al colocar tornillos durante un procedimiento quirúrgico.

Referencias.

1. **Acharya S, Dorje T, Srivastava A.** Lower dorsal and lumbar pedicle morphometry in Indian population: a study of four hundred fifty vertebrae. *Spine* 2010;35:E378-E384.
2. **Alfonso Olmos M, Villas Tomé C, Beguiristain Gúrpide JL, Zubieta Zárraga JL.** Morfometría vertebral en población española. *Rev Ortop Traumatol* 2002;2:158-164.
3. **Amonoo-Kuofi HS.** Age-related variations in the horizontal and vertical diameters of the pedicles of the lumbar spine. *J Anat* 1995;186:321-328.
4. **Brantley AG, Mayfield JK, Koeneman JB, Clark KR.** The effects of pedicle screw fit. An in vitro study. *Spine* 1994;19:1752-1758.
5. **Chaynes P, Sol JC, Vaysse P, Bécue J, Lagarrigue J.** Vertebral pedicle anatomy in relation to pedicle screw fixation: a cadaver study. *Surg Radiol Anat* 2001;23:85-90.
6. **Christodoulou AG, Apostolou T, Ploumis A, Terzidis I, Hantzokos I, Pournaras J.** Pedicle dimensions of the thoracic and lumbar vertebrae in the Greek population. *Clin Anat* 2005;18:404-408.
7. **Defino HLA, Vendrame JRB.** Morphometric study of lumbar vertebrae's pedicle. *Acta Ortop Bras* 2007;15:83-86.
8. **Gelalis ID, Paschos NK, Pakos EE, Politis AN, Arnaoutoglou CM, Karageorgos AC, Ploumis A, Xenakis TA.** Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective in vivo studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques. *Eur Spine J* 2012;21:247-255.

9. **Kai Y, Oyama M, Morooka M.** Posterior lumbar interbody fusion using local facet joint autograft and pedicle screw fixation. *Spine* 2004;29:41-46.
10. **Kim NH, Lee HM, Chung IH, Kim HJ, Kim SJ.** Morphometric study of pedicles of thoracic and lumbar vertebrae in Koreans. *Spine* 1994;19:1390-1394.
11. **Kothe R, O'Holleran JD, Liu W, Panjabi MM.** Internal architecture of the thoracic pedicle. An anatomic study. *Spine* 1996;21:264-270.
12. **Liau KM, Yusof MI, Abdullah MS, Abdullah S, Yusof AH.** Computed tomographic morphometry of thoracic pedicles: safety margin of transpedicular screws fixation in Malaysian Malay population. *Spine* 2006;15:E545-550.
13. **Lien SB, Liou NH, Wu SS.** Analysis of anatomic morphometry of the pedicles and the safe zone for through-pedicle procedures in the thoracic and lumbar spine. *Eur Spine J* 2007;16:1215-1222.
14. **Misenhimer GR, Peek RD, Wiltse LL, Rothman SL, Widell EH Jr.** Anatomic analysis of pedicle cortical and cancellous diameter as related to screw size. *Spine* 1989;14:367-372.
15. **Mitra SR, Datir SP, Jadhav SO.** Morphometric study of the lumbar pedicle in the Indian population as related to pedicular screw fixation. *Spine* 2002;27:453-459.
16. **Nachemson AL.** The lumbar spine. An orthopaedic challenge. *Spine* 1996;1:59-68.
17. **Nojiri K, Matsumoto M, Chiba K, Toyama Y, Momoshima S.** Comparative assessment of pedicle morphology of the lumbar spine in various degenerative diseases. *Surg Radiol Anat* 2005;27:317-321.
18. **Olsewski JM, Simmons EH, Kallen FC, Mendel FC, Severin CM, Berens DL.** Morphometry of the lumbar spine: anatomical perspectives related to transpedicular fixation. *J Bone Joint Surg Am* 1990;72:541-549.
19. **Olson TR.** ADAM. Atlas de Anatomía Humana. Masson-Williams & Wilkins, Barcelona, 1997.
20. **Prakash, Prabhu LV, Vadgaonkar R, Pai MM, Ranade AV, Singh G.** Morphometry of vertebral pedicles: a comprehensive anatomical study of lumbar region. *Int J Morphol* 2007;25:393-406.
21. **Resnick DK, Choudhri TF, Dailey AT, Groff MW, Khoo L, Matz PG, Mummaneni P, Watters WC 3rd, Wang J, Walters BC, Hadley MN.** Guidelines for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 1: introduction and methodology. *J Neurosurg Spine* 2005;2:637-638.
22. **Urrutia Vega E, Elizondo Omaña RE, De la Garza Castro O, Guzmán López S.** Morphometry of the pedicle and vertebral body in a Mexican population by CT and fluoroscopy. *Int J Morphol* 2009;27:1299-1303.
23. **Wolf A, Shoham M, Michael S, Moshe R.** Morphometric study of the human lumbar spine for operations-workspace specifications. *Spine* 2001;26:2472-2477.

24. **Zindrick MR, Wiltse LL, Widell EH, Thomas JC, Holland WR, Field BT, Spencer CW.** A biomechanical study of intrapedicular screw fixation in the lumbosacral spine. *Clin Orthop Relat Res* 1986;203: 99-112.

Palabras Clave. vértebra, pedículo, morfometría, lumbar, México, abordaje transpedicular, tornillos transpediculares.

SUMMARY

SUMMARY

Introduction. The number of patients with spinal pathology has increased exponentially in recent years due to changes in lifestyle and behavior patterns as well as the increase in life expectancy and with that the number of patients who will require a surgical treatment. Similarly, the amount of financial resources for the prevention, diagnosis, treatment and rehabilitation of patients with these diseases has increased in recent years.

One of the options available for the surgical treatment of spinal pathology is the vertebral instrumentation by transpedicular approach. Actually the vertebral fusion surgery by transpedicular approach represents the fixation technique more commonly used for the treatment of any vertebral pathology. Among the advantages of this procedure are the stabilizing of the affected vertebral segments, reduction of postoperative complications, a shorter hospital stay and a fair degree of clinical improvement.

The morphometric characteristics of the vertebrae, especially those from the pedicle; determine the size of the pedicle implants in both width and length, as well as the shape, direction and the ideal angle of the screw at the time of introduction. It's important for the surgeon the knowledge of these features in order to avoid pedicle lesions, meninges, nerve roots, facet joints, viscera and adjacent vascular structures due to incorrect placement or wrong orientation of the screws.

Objective. Determine the morphometric characteristics of lumbar vertebral pedicle in Mexican population by direct measurements of cadaveric specimens and computed tomography (CT) and determine if they are similar to each other.

Materials and Methods. An observational, cross-sectional, descriptive. We analyzed 30 lumbar spines (L1 to L5, 150 vertebrae, 300 pedicles) of cadavers from the Department of Human Anatomy of the Faculty of Medicine of the UANL, male with an age range between 18 and 70 years and 30 CT scans of the lumbar spine. The height, width and length of the lumbar vertebral pedicle and the other vertebral elements of cadaveric specimens were determined bilaterally using a digital caliper with an accuracy of 0.01 mm.

In the same way using a computer workstation, the morphometric characteristics of lumbar vertebral pedicle were determined in lumbar spine CT scans. We determined the mean, standard deviation, median, mode, minimum and maximum values for each measurement parameter. Parametric correlation tests (with a p-value considered significantly when it was lower than 0.05%) for comparing the results of the different parameters between the different vertebral levels in the same measurement method (cadaveric specimen or CT) and the same vertebral level between the two types of measurement methods. The results were tabulated in tables and graphs.

Results. In the group of directly measurement in cadaver specimens the cortical width showed a progressive and proportional increase from L1 to L5 in all the studied vertebrae. The narrowest pedicle width had an average value of 5.73 mm \pm 1.10 in L1 and the widest pedicle width had an average result of 11.34 mm \pm 4.06 in L5. In the CT group the lowest result was in L1 with a mean value of 6.72 mm \pm 2.07 and a maximum result in L5 with a mean value of 14.47 mm \pm 1.08.

The cortical pedicle height in the group of direct measurement in cadaveric specimens obtained a minimum mean value of 14.74 mm \pm 2.24 in L5 and a maximum mean value of 16.18 mm \pm 0.80 in L1. The group measured by CT obtained a minimum mean value of 15.42 mm \pm 1.98 in L5 and maximum mean value of 16.57 mm \pm 1.58 in L1. It was a significant difference ($p < 0.05$) between

different vertebral levels within the same measurement group. Regarding the same vertebral level in comparison between the two types of measurements made for all the groups were statistically no significant (p-value greater than 0.05) for the most of vertebral levels.

30 patients were analyzed by TAC, the average height of L1 to L5 observed was 16.8, 15.4, 15.4, 15.4 and 15.8, as to diameter AP results were 20.9, 20.5, 19.2, 18.2 and 16.7; finely diameter showed Axial averages 6.7, 7.4, 8.7, 10.6 y 14.5 respectively. To compare the values against TAC Autopsy observe higher average TAC for the length L1, L2 and L3, and length and width to L4 and L5 ($p < 0.05$ in all cases).

Discussion. The cortical pedicle width in the present study obtained lower values than those reported by other studies in other populations, while the cortical pedicle height as the other studies obtained irregular variations between different vertebral levels that make up the lumbar spine. The other measurement parameters (laminae, superior and inferior articular processes, spinous and transverse processes) are of lesser importance in terms of spinal fusion surgery is concerned but still have vital importance in terms of the design of prosthetic robotic surgery and planning of surgery.

Conclusions. The pedicle implants that are currently on the market are suitable for the Mexican general population in regard to the horizontal diameter is concerned. The morphometric characteristics of lumbar vertebral pedicle in the Mexican population are significantly similar to each other, in the corresponding measurements made on the same, with the exception of L5 that present certain features statistically different.. The width of the pedicles from L1 to L5 are gradually increasing in size, the height tends to decrease in size from L1 to L5. The L5 vertebra by its particular characteristics has a greater range of security and stability by placing screws during a surgical procedure.

References.

1. **Acharya S, Dorje T, Srivastava A.** Lower dorsal and lumbar pedicle morphometry in Indian population: a study of four hundred fifty vertebrae. *Spine* 2010;35:E378-E384.
2. **Alfonso Olmos M, Villas Tomé C, Beguiristain Gúrpide JL, Zubieta Zárraga JL.** Morfometria vertebral en población española. *Rev Ortop Traumatol* 2002;2:158-164.
3. **Amonoo-Kuofi HS.** Age-related variations in the horizontal and vertical diameters of the pedicles of the lumbar spine. *J Anat* 1995;186:321-328.
4. **Brantley AG, Mayfield JK, Koeneman JB, Clark KR.** The effects of pedicle screw fit. An in vitro study. *Spine* 1994;19:1752-1758.
5. **Chaynes P, Sol JC, Vaysse P, Bécue J, Lagarrigue J.** Vertebral pedicle anatomy in relation to pedicle screw fixation: a cadaver study. *Surg Radiol Anat* 2001;23:85-90.
6. **Christodoulou AG, Apostolou T, Ploumis A, Terzidis I, Hantzokos I, Pournaras J.** Pedicle dimensions of the thoracic and lumbar vertebrae in the Greek population. *Clin Anat* 2005;18:404-408.
7. **Defino HLA, Vendrame JRB.** Morphometric study of lumbar vertebrae's pedicle. *Acta Ortop Bras* 2007;15:83-86.
8. **Gelalis ID, Paschos NK, Pakos EE, Politis AN, Arnaoutoglou CM, Karageorgos AC, Ploumis A, Xenakis TA.** Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective in vivo studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques. *Eur Spine J* 2012;21:247-255.
9. **Kai Y, Oyama M, Morooka M.** Posterior lumbar interbody fusion using local facet joint autograft and pedicle screw fixation. *Spine* 2004;29:41-46.
10. **Kim NH, Lee HM, Chung IH, Kim HJ, Kim SJ.** Morphometric study of pedicles of thoracic and lumbar vertebrae in Koreans. *Spine* 1994;19:1390-1394.
11. **Kothe R, O'Holleran JD, Liu W, Panjabi MM.** Internal architecture of the thoracic pedicle. An anatomic study. *Spine* 1996;21:264-270.
12. **Liau KM, Yusof MI, Abdullah MS, Abdullah S, Yusof AH.** Computed tomographic morphometry of thoracic pedicles: safety margin of transpedicular screws fixation in Malaysian Malay population. *Spine* 2006;15:E545-550.
13. **Lien SB, Liou NH, Wu SS.** Analysis of anatomic morphometry of the pedicles and the safe zone for through-pedicle procedures in the thoracic and lumbar spine. *Eur Spine J* 2007;16:1215-1222.
14. **Misenhimer GR, Peek RD, Wiltse LL, Rothman SL, Widell EH Jr.** Anatomic analysis of pedicle cortical and cancellous diameter as related to screw size. *Spine* 1989;14:367-372.

15. **Mitra SR, Datir SP, Jadhav SO.** Morphometric study of the lumbar pedicle in the Indian population as related to pedicular screw fixation. *Spine* 2002;27:453-459.
16. **Nachemson AL.** The lumbar spine. An orthopaedic challenge. *Spine* 1996;1:59-68.
17. **Nojiri K, Matsumoto M, Chiba K, Toyama Y, Momoshima S.** Comparative assessment of pedicle morphology of the lumbar spine in various degenerative diseases. *Surg Radiol Anat* 2005;27:317-321.
18. **Olsewski JM, Simmons EH, Kallen FC, Mendel FC, Severin CM, Berens DL.** Morphometry of the lumbar spine: anatomical perspectives related to transpedicular fixation. *J Bone Joint Surg Am* 1990;72:541-549.
19. **Olson TR.** ADAM. Atlas de Anatomía Humana. Masson-Williams & Wilkins, Barcelona, 1997.
20. **Prakash, Prabhu LV, Vadgaonkar R, Pai MM, Ranade AV, Singh G.** Morphometry of vertebral pedicles: a comprehensive anatomical study of lumbar region. *Int J Morphol* 2007;25:393-406.
21. **Resnick DK, Choudhri TF, Dailey AT, Groff MW, Khoo L, Matz PG, Mummaneni P, Watters WC 3rd, Wang J, Walters BC, Hadley MN.** Guidelines for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 1: introduction and methodology. *J Neurosurg Spine* 2005;2:637-638.
22. **Urrutia Vega E, Elizondo Omaña RE, De la Garza Castro O, Guzmán López S.** Morphometry of the pedicle and vertebral body in a Mexican population by CT and fluoroscopy. *Int J Morphol* 2009;27:1299-1303.
23. **Wolf A, Shoham M, Michael S, Moshe R.** Morphometric study of the human lumbar spine for operations-workspace specifications. *Spine* 2001;26:2472-2477.
24. **Zindrick MR, Wiltse LL, Widell EH, Thomas JC, Holland WR, Field BT, Spencer CW.** A biomechanical study of intrapedicular screw fixation in the lumbosacral spine. *Clin Orthop Relat Res* 1986;203: 99-112.

Key words. vertebral, morphometry, pedicle, lumbar, Mexico, transpedicular screws, transpedicular approach.

REFERENCIAS

1. **Abuzayed B, Tutunculer B, Kucukyuruk B, Tuzgen S.** Anatomic basis of anterior and posterior instrumentation of the spine: morphometric study. *Surg Radiol Anat* 2010;32:75-85.
2. **Acharya S, Dorje T, Srivastava A.** Lower dorsal and lumbar pedicle morphometry in Indian population: a study of four hundred fifty vertebrae. *Spine* 2010;35:E378-E384.
3. **Agur AMR, Dalley AF.** Grant. Atlas de Anatomía. 11ª Ed. Editorial Médica Panamericana. 2007.
4. **Alfonso Olmos M, Villas Tomé C, Beguiristain Gúrpide JL, Zubieta Zárraga JL.** Morfometría vertebral en población española. *Rev Ortop Traumatol* 2002;2:158-164.
5. **Amonoo-Kuofi HS.** Age-related variations in the horizontal and vertical diameters of the pedicles of the lumbar spine. *J Anat* 1995;186:321-328.
6. **An HS, Anderson PA, Haughton VM, Iatridis JC, Kang JD, Lotz JC, Natarajan RN, Oegema TR Jr, Roughley P, Setton LA, Urban JP, Videman T, Andersson GB, Weinstein JN.** Introduction: disc degeneration: summary. *Spine* 2004;29:2677-2678.
7. **Andreula CF, Simonetti L, De Santis F, Agati R, Ricci R, Leonardi M.** Minimally invasive oxygen-ozone therapy for lumbar disc herniation. *AJNR Am J Neuroradiol* 2003;24:996-1000.
8. **Arnold PM, Robbins S, Paullus W, Faust S, Holt R, McGuire R.** Clinical outcomes of lumbar degenerative disc disease treated with posterior lumbar interbody fusion allograft spacer: a prospective, multicenter trial with 2-year follow-up. *Am J Orthop* 2009;38:E115-122.
9. **Aruna N, Rajeshwari T.** A study of lumbar pedicle size in South Indians. *Anatomica Karnakata* 2011;5:69-73.
10. **Asociación Colombiana para el Estudio del Dolor (ACED).** Dolor. Ed. Guadalupe Ltda., Bogotá D.C., Colombia. 2004.
11. **Atlas SJ, Keller RB, Wu YA, Deyo RA, Singer DE.** Long-term outcomes of surgical and nonsurgical management of sciatica secondary to a lumbar disc herniation: 10 year results from the maine lumbar spine study. *Spine* 2005;30:927-935.
12. **Awad JN, Moskowich R.** Lumbar disc herniations: surgical versus nonsurgical treatment. *Clin Orthop Relat Res* 2006;443:183-197.
13. **Biyani A, Andersson GB.** Dolor lumbar: fisiopatología y tratamiento. *J Am Acad Orthop Surg* 2004;12:106-115.
14. **Bloomington MN: Institute for Clinical Systems Improvement (ICSI).** Adult Low back pain. National Guideline Clearinghouse. 47 ICSI health care guidelines; no. G03 1998.

15. **Boden SD, Davis DO, Dina TS, Patronas NJ, Wiesel SW.** Abnormal magnetic-resonance scans of the lumbar spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation. *J Bone Joint Surg Am* 1990;72:403-408.
16. **Borenstein DG, Wiesel SW, Boden SD.** Low Back Pain. Diagnosis and Comprehensive Managementn. Saunders Co., Philadelphia, 1999.
17. **Borkan GA, Hults DE, Gerzof SG, Robbins AH, Silbert CK.** Age changes in body composition revealed by computed tomography. *J Gerontol* 1983;38:673-677.
18. **Bradford DS, Boachie-Adjei O.** Treatment of severe spndylolisthesis by anterior and posterior reduction and stabilization. A long-term follow-up study. *J Bone Joint Surg Am* 1990;72:1060-1066.
19. **Brantley AG, Mayfield JK, Koeneman JB, Clark KR.** The effects of pedicle screw fit. An in vitro study. *Spine* 1994;19:1752-1758.
20. **Carson W, Duffield R, Arendt M, Ridgely BJ, Gaines RW Jr.** Internal forces and moments in transpedicular spine instrumentation. The effect of pedicle screw angle and transfixation--the 4R-4bar linkage concept. *Spine* 1990;15:893-901.
21. **Chaffin D, Andersson G, Martin B.** Occupational Biomechanics. John Wiley and Sons, New York, 2006.
22. **Chan CY, Kwan MK, Saw LB.** Safety of thoracic pedicle screw application using the funnel technique in Asians: a cadaveric evaluation. *Eur Spine J* 2010;19:78-84.
23. **Chaynes P, Sol JC, Vaysse P, Bécue J, Lagarrigue J.** Vertebral pedicle anatomy in relation to pedicle screw fixation: a cadaver study. *Surg Radiol Anat* 2001;23:85-90.
24. **Chen CS, Cheng CK, Liu CL.** A biomechanical comparison of posterolateral fusion and posterior fusion in the lumbar spine. *J Spinal Disord Tech* 2002;15:53-63.
25. **Christodoulou AG, Apostolou T, Ploumis A, Terzidis I, Hantzokos I, Pournaras J.** Pedicle dimensions of the thoracic and lumbar vertebrae in the Greek population. *Clin Anat* 2005;18:404-408.
26. **Christodoulou A, Ploumis A, Terzidis I, Pournaras I.** Vertebral body reconstruction with injectable hydroxyapatite cement for the management of unstable thoracolumbar burst fractures: a preliminary report. *Acta Orthop Belg* 2005;71:597-603.
27. **Clascá F, Bover R, Burón JA, Castro A.** Anatomía Seccional. Ed. Masson, Barcelona, 2002.
28. **Dai LY, Ni B, Jia LS, Liu HK.** Lumbar disc herniation in patients with developmental spinal stenosis. *Eur Spine J* 1996;5:308-311.
29. **Daynard d, Yassi A, Cooper JE, Tate R, Norman R, Wells R.** Biomechanical analysis of peak and cumulative spinal loads during simulated patient-handling activities: a substudy of a randomized trial to prevent lift and transfer injury of health care workers. *Appl Ergon* 2001;32:199-214.

30. **Decaer TB, Hadler NM.** The adult spine. Vol I-II. Frymoyer JW (Ed.), New York, Raven Press, 1991.
31. **Defino HLA, Vendrame JRB.** Morphometric study of lumbar vertebrae's pedicle. *Acta Ortop Bras* 2007;15:83-86.
32. **Dewald CJ, Millikan KW, Hammerberg KW, Doolas A, Dewald RL.** An open, minimally invasive approach to the lumbar spine. *Am Surg* 1999;65:61-68.
33. **Deyo RA, Tsui-Wu YJ.** Descriptive epidemiology of low-back pain and its related medical care in the United States. *Spine* 1987;12:264-268.
34. **Djavid GE, Mehrdad R, Ghasemi M, Hasan-Zadeh H, Sotoodeh-Manesh A, Pouryaghoub G.** In chronic low back pain, low level laser therapy combined with exercise is more beneficial than exercise alone in the Long term: a randomised trial. *Aust J Physiother* 2007;53:155-160.
35. **Dulhunty JA.** Anthropometrical and mechanical considerations in determining normal parameters for the sagittal lumbar spine. *J Manipulative Physiol Ther* 1997;20:92-102.
36. **Errico TJ, Gatchel RJ, Schofferman J, Benzel EC, Faciszewski T, Eskay-Auerbach M, Wang JC.** A fair and balanced view of spine fusion surgery. *Spine J* 2004;4:S129-S138
37. **Fajardo M.** Ejercicios Físicos y Rehabilitación. Tomo I. ISCF; Centro de Actividad Física y Salud. Editorial Deportes, 2006.
38. **Freeman BJ, Davenport J.** Total disc replacement in the lumbar spine: a systematic review of the literature. *Eur Spine* 2006;15:S439-S447.
39. **Frymoyer JW.** Lumbar disk disease: epidemiology. *Instr Course Lect* 1992;41:217-223.
40. **Frymoyer JW, Cats-Baril WL.** An overview of the incidences and costs of low back pain. *Orthop Clin North Am* 1991;22:263-271.
41. **Gaines RW Jr.** The use of pedicle-screw internal fixation for the operative treatment of spinal disorders. *J Bone Joint Surg Am* 2000;82-A:1458-1476.
42. **Gelalis ID, Kang JD.** Thoracic and lumbar fusions for degenerative disorders. rationale for selecting the appropriate fusion techniques. *Orthop Clin North Am* 1998;29:829-842.
43. **Gelalis ID, Paschos NK, Pakos EE, Politis AN, Arnaoutoglou CM, Karageorgos AC, Ploumis A, Xenakis TA.** Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective in vivo studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques. *Eur Spine J* 2012;21:247-255.
44. **Gillet P.** The fate of the adjacent motion segments after lumbar fusion. *J Spinal Disord Tech* 2003;16:338-345.
45. **Gilroy AM, MacPherson BR, Ross LM, Schünke M, Schulte E, Schumacher U.** Prometheus. Atlas de Anatomía. Ed. Médica Panamericana. 2008.

46. **Goel VK, Ebraheim NA, Biyani A, Rengachary S, Faizan A.** Role of mechanical factors in evaluation of pedicle screw type spinal fixation devices. *Neurol India* 2005;53:399-407.
47. **Gómez de la Riva A, Isla A, Pérez-López C, Ortega R, Fernández-Miranda JC, Heredero J.** Causas de reintervención quirúrgica en pacientes con fijación lumbar intervenidos por estenosis de canal. *Neurocirugía* 2006;17:232-239.
48. **Guiot BH, Khoo LT, Fessler RG.** A Minimally invasive technique for decompression of the lumbar spine. *Spine* 2002; 27:432-438.
49. **Hadler NM.** Disorders of the back and neck. Primer on the rheumatic diseases tenth. Ed. Shumacher HR, Klippel JH, Koopman WJ, Arthritis Foundation. 1993. Pp:267-272.
50. **Horal J.** The clinical appearance of low back disorders in the city of Gothenburg Sweden. Comparisons of incapacitated probands with matched controls. *Acta Orthop Scand* 1969;118:S1-S109.
51. **Iguchi T, Kurihara A, Nakayama J, Sato K, Kurosaka M, Yamasaki K.** Minimum 10-year outcome of decompressive laminectomy for degenerative lumbar spinal stenosis. *Spine* 2000;25:1754-1759.
52. **Jäger M, Luttmann A.** Compressive strength of lumbar spine elements related to age, gender, and other influencing factors. En: Anderson P, Hobart D, Danoff J. Electromyographical kinesiology: Proceedings of the 8th Congress of the International Society of Electrophysiological Kinesiology; 1990 Aug 2-16; Baltimore, Maryland. Amsterdam: *Excerpta Medica* 1991:291-294.
53. **Kai Y, Oyama M, Morooka M.** Posterior lumbar interbody fusion using local facet joint autograft and pedicle screw fixation. *Spine* 2004;29:41-46.
54. **Kapandji AI.** Fisiología Articular, Tronco y Raquis. 5ª Ed. Editorial Médica Panamericana, Madrid, 2002. pp:253.
55. **Kelsey JL, White AA 3rd.** Epidemiology and impact of low-back pain. *Spine* 1980;5:133-142.
56. **Khoo LT, Fessler RG.** Microendoscopic decompressive laminotomy for the treatment of lumbar stenosis. *Neurosurgery* 2002;51:S146-154.
57. **Khoo LT, Palmer S, Laich DT, Fessler RG.** Minimally invasive percutaneous posterior lumbar interbody fusion. *Neurosurgery* 2002;51:S166-171.
58. **Kim NH, Lee HM, Chung IH, Kim HJ, Kim SJ.** Morphometric study of pedicles of thoracic and lumbar vertebrae in Koreans. *Spine* 1994;19:1390-1394.
59. **Koes BW.** Surgery versus intensive rehabilitation programmes for chronic low back pain. *BMJ* 2005;330:1220-1221.
60. **Konno S, Kikuchi S, Nagaosa Y.** The relationship between intramuscular pressure of the paraspinal muscles and low back pain. *Spine* 1994;19: 2186-89.

61. **Kothe R, O'Holleran JD, Liu W, Panjabi MM.** Internal architecture of the thoracic pedicle. An anatomic study. *Spine* 1996;21:264-270.
62. **Krogman WM.** Race differences in human skeleton. In: *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. 3rd Edn; Charles C. Thomas publishers, USA; 1978.
63. **Lai PL, Chen LH, Niu CC, Fu TS, Chen WJ.** Relation between laminectomy and development of adjacent segment instability after lumbar fusion with pedicle fixation. *Spine* 2004;29:2527-2532.
64. **Latarjet M, Ruiz Liard A.** Anatomía Humana. 4ª Ed. Tomos I y II. Ed. Médica Panamericana, México. 2005.
65. **Leboeuf-Yde C, Kyvik KO.** At what age does low back pain become a common problem? A study of 29,424 individuals aged 12-41 years. *Spine* 1998;23:228-234.
66. **Leboeuf-Yde C, Lauritsen JM.** The prevalence of low back pain in the literature. A structured review of 26 Nordic studies from 1954-1993. *Spine* 1995;20:2112-2118.
67. **Leino PI, Berg MA, Puska P.** Is back pain increasing? Results from national surveys in Finland during 1978/9-1992. *Scand J Rheumatol* 1994;23:269-276.
68. **Leiviskä T, Videman T, Nurminen T, Troup JD.** Radiographic versus direct measurements of the spinal canal at lumbar vertebrae L3-L5 and their relations to age and body stature. *Acta Radiol Diagn* 1985;26:403-411.
69. **Liau KM, Yusof MI, Abdullah MS, Abdullah S, Yusof AH.** Computed tomographic morphometry of thoracic pedicles: safety margin of transpedicular screws fixation in Malaysian Malay population. *Spine* 2006;15:E545-550.
70. **Lien SB, Liou NH, Wu SS.** Analysis of anatomic morphometry of the pedicles and the safe zone for through-pedicle procedures in the thoracic and lumbar spine. *Eur Spine J* 2007;16:1215-1222.
71. **Loney PL, Stratford PW.** The prevalence of low back pain in adults: a methodological review of the literature. *Phys Ther* 1999;79:384-396.
72. **Lorenz MA, Hodges S, Vrbos LA.** Spinal fixation. *Curr Opin Orthop* 1993;4:192-204.
73. **Lu S, Xu YQ, Zhang YZ, Li YB, Xie L, Shi JH, Guo H, Chen GP, Chen YB.** A novel computer-assisted drill guide template for lumbar pedicle screw placement: a cadaveric and clinical study. *Int J Med Robot* 2009;5:184-191.
74. **Marras WS, Granata KP.** A biomechanical assessment and model of axial twisting in the thoracolumbar spine. *Spine* 1995;20:1440-1451.
75. **Mathers C, Penm R.** Health system costs of injury, poisoning and musculoskeletal disorders in Australia 1993-94. Canberra, University of Sydney and the Australian Institute of Health and Welfare. 1999.
76. **Matta J, Díaz CL, Gamba CE.** Fijación transpedicular en espondilolistesis, espondilolisis y canal lumbar estrecho de la columna lumbosacra. *Rev Col de Or Tra* 2002;16:18-24.
77. **McMinn RMH, Hutchings RT.** Gran Atlas de Anatomía Humana. 5ª Ed. Océano, 2005.

78. **Mesard L, Carmody A, Mannarino E, Ruge D.** Survival after spinal cord trauma. A life table analysis. *Arch Neurol* 1978;35:78-83.
79. **Miralles Marrero RC, Miralles Rull I.** Biomecánica Clínica de los Tejidos y las Articulaciones del Aparato Locomotor. Elsevier-Masson, Barcelona, 2005.
80. **Mirza SK, Deyo RA.** Systematic review of randomized trials comparing lumbar fusion surgery to nonoperative care for treatment of chronic back pain. *Spine* 2007;32:816-823.
81. **Misenhimer GR, Peek RD, Wiltse LL, Rothman SL, Widell EH Jr.** Anatomic analysis of pedicle cortical and cancellous diameter as related to screw size. *Spine* 1989;14:367-372.
82. **Mitra SR, Datir SP, Jadhav SO.** Morphometric study of the lumbar pedicle in the Indian population as related to pedicular screw fixation. *Spine* 2002;27:453-459.
83. **Modic MT, Steinberg PM, Ross JS, Masaryk TJ, Carter JR.** Degenerative disk disease: assessment of changes in vertebral body marrow with MR imaging. *Radiology* 1988;166:193-199.
84. **Mofidi A, Sedhom M, O'Shea K, Fogarty EE, Dowling F.** Is high level of disability an indication for spinal fusion? Analysis of long-term outcome after posterior lumbar interbody fusion using carbon fiber cages. *J Spinal Disord Tech* 2005;18:479-484.
85. **Moore KL, Dalley AF, Agur AMR.** Anatomía con Orientación Clínica. 6ª Ed. Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins. 2010.
86. **Murphy PL, Volinn E.** Is occupational low back pain on the rise? *Spine*. 1999;24:691-697.
87. **Myers MA, Hamilton SR, Bogosian AJ, Smith CH, Wagner TA.** Visual loss as a complication of spine surgery. A review of 37 cases. *Spine* 1997;22:1325-1329.
88. **Nachemson AL.** The lumbar spine. An orthopaedic challenge. *Spine* 1996;1:59-68.
89. **Najjar MF, Rowland M.** Anthropometric reference data and prevalence of overweight, United States, 1976-1980. *Vital Health Stat* 11 1987;(238):1-73.
90. **Netter FH.** Atlas de Anatomía Humana. 4ª Ed. Masson, Barcelona, 2007.
91. **Niu CC, Tsai TT, Fu TS, Lai PL, Chen LH, Chen WJ.** A comparison of posterolateral lumbar fusion comparing autograft, autogenous laminectomy bone with bone marrow aspirate, and calcium sulphate with bone marrow aspirate: a prospective randomized study. *Spine* 2009;34:2715-2719.
92. **Nojiri K, Matsumoto M, Chiba K, Toyama Y, Momoshima S.** Comparative assessment of pedicle morphology of the lumbar spine in various degenerative diseases. *Surg Radiol Anat* 2005;27:317-321.
93. **Nordin M, Frankel VH.** Biomecánica Básica del Sistema Musculoesquelético. 3ª Ed. McGraw-Hill Interamericana, 2001.
94. **Ochoa Amaya G.** Dolor lumbar: una re-evaluación de los conceptos. *Medunab* 2001;4. http://editorial.unab.edu.co/revistas/medunab/pdfs/r410_rt_r5.pdf.

95. **Olsewski JM, Simmons EH, Kallen FC, Mendel FC, Severin CM, Berens DL.** Morphometry of the lumbar spine: anatomical perspectives related to transpedicular fixation. *J Bone Joint Surg Am* 1990;72:541-549.
96. **Olson TR.** ADAM. Atlas de Anatomía Humana. Masson-Williams & Wilkins, Barcelona, 1997.
97. **Pal GP y Routal RV.** Transmission of weight through the lower thoracic and lumbar regions of the vertebral column in man. *J Anat* 1987;152:93-105.
98. **Panjabi MM.** Clinical spinal instability and low back pain. *J Electromyogr Kinesiol* 2003;13:371-379.
99. **Panski B.** Anatomía Humana. 6ª Ed. McGraw-Hill Interamericana, México, 1998.
100. **Papageorgiou AC, Croft PR, Ferry S, Jayson MI, Silman AJ.** Estimating the prevalence of low back pain in the general population. Evidence from the South Manchester Back Pain Survey. *Spine* 1995;20:1889-1894.
101. **Pintar FA, Cusick JF, Yoganandan N, Reinartz J, Mahesh M.** The biomechanics of lumbar facetectomy under compression-flexion. *Spine* 1992;17:804-810.
102. **Platzer W.** Pernkopf Anatomía. 3ª ed. Ed. Marban, Madrid, 1998.
103. **Platzer W, Fritsch H, Kahle W.** Atlas de Anatomía con Correlación Clínica. Ed. Médica Panamericana. Ed. 9ª. 2008.
104. **Popov SN.** La Cultura Física Terapéutica. Prof. Mayra Jorge Perdomo (Ed.). Traducción Editorial Pueblo y Educación. La Habana, 1988.
105. **Prakash, Prabhu LV, Vadgaonkar R, Pai MM, Ranade AV, Singh G.** Morphometry of vertebral pedicles: a comprehensive anatomical study of lumbar region. *Int J Morphol* 2007;25:393-406.
106. **Putz R, Pabst R.** Sobotta. Atlas de Anatomía Humana. 22ª ed. Ed. Médica Panamericana, Buenos Aires, 2006.
107. **Qi W, Yan YB, Zhang Y, Lei W, Wang P, Hou J.** Study of stress distribution in pedicle screws along a continuum of diameters: a three-dimensional finite element analysis. *Orthop Surg* 2011;3:57-63.
108. **Resnick DK, Choudhri TF, Dailey AT, Groff MW, Khoo L, Matz PG, Mummaneni P, Watters WC 3rd, Wang J, Walters BC, Hadley MN.** Guidelines for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 1: introduction and methodology. *J Neurosurg Spine* 2005;2:637-638.
109. **Reyes Llerena GA.** Dolor Reumático. Consideraciones Clínico - Terapéuticas. CIME. Ciudad de La Habana, Cuba, 1969.
110. **Robaina FJ.** Manejo intervencionista de la ciática y del dolor lumbar postquirúrgico. *Rev Soc Esp Dolor* 1999;6:233-237.
111. **Robaina FJ.** Aspectos neuroquirúrgicos del tratamiento del dolor crónico en el tercer milenio. Las Unidades Multidisciplinarias del Dolor. *Rev Soc Esp Dolor* 2003;10:481-507.

112. **Robaina-Padrón FJ.** Tratamiento quirúrgico del dolor de espalda. *Actualizaciones en Dolor* 2000;1:42-50.
113. **Robaina-Padrón FJ.** Controversies about instrumented surgery and pain relief in degenerative lumbar spine pain. Results of scientific evidence. *Neurocirugia* 2007;18:406-413.
114. **Rohen JW, Yokochi C, Lütjen-Drecoll E.** Atlas Fotográfico de Anatomía Humana. 6ª ed. Elsevier, 2007.
115. **Romanes GJ.** Cunningham-Tratado de Anatomía. 12ª ed. McGraw-Hill Interamericana, Madrid, 1987.
116. **Rouvière H, Delmas A.** Anatomía Humana. 11ª ed. Masson, 2005.
117. **Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C.** Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. *Clin Orthop* 1986;203:7-17.
118. **Rull M, Miralles RC, Añez C.** Physiopathology of radicular pain. *Rev Soc Esp Dolor* 2001;8:22-34.
119. **Rull M, Miralles RC, Segura J.** Estenosis del conducto vertebral lumbar de causa degenerativa: consideraciones sobre el tratamiento conservador del canal vertebral lumbar estrecho. *JANO* 1999;57:76.
120. **Saengnipanthkul S, Narakol P.** Midpedicular distance: an alternative pedicular distance measurement. *J Med Assoc Thai* 2001;84:S613-S617.
121. **Saillant G.** Étude anatomique des pédicules vertébraux. Application chirurgicale. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1976;62:151-160.
122. **Schmidek H, Sweet W, Long D.** Management of persistent symptoms following lumbar disc surgery. In: *Operative Neurosurgical Techniques*. Philadelphia, WB Saunders Company, 1995.pp: 1935-1940.
123. **Schneck CD.** The anatomy of lumbar spondylosis. *Clin Orthop Relat Res* 1985;193:20-37.
124. **Schoenecker PL, Cole HO, Herring JA, Capelli A., Bradford DS.** Cauda equina syndrome after in situ arthrodesis for severe spondylolisthesis at the lumbosacral junction. *J Bone Joint Surg Am* 1990;72:369-377.
125. **Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K.** Prometheus. Texto y Atlas de Anatomía. 2ª ed. Ed. Médica Panamericana, 2010.
126. **Schwender JD, Holly LT, Rouben DP, Foley KT.** Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF): technical feasibility and initial results. *J Spinal Disord Tech* 2005;18:S1-S6.
127. **Selby DK, Gill K, Blumenthal SL.** Fusion of the lumbar spine. In: *Neurological Surgery*. Youmans JR ED. 3rd ed. Saunders, Philadelphia, 1990. pp:2785-2804.
128. **Shekelle PG, Adam AH, Chassin MR, Hurwitz EL, Brook RH.** Spinal manipulation for low-back pain. *Ann Intern Med* 1992;117:590-598.

129. **Singel TC, Patel MM, Gohil DV.** A study of width and height of lumbar pedicles in Saurashtra Region. *J Anat Soc India* 2004;53:4-9.
130. **Sjöström L, Jacobsson O, Karström G, Pech P, Rauschning W.** CT analysis of pedicles and screws tracts after implant removal in thoracolumbar fractures. *J Spinal Disord* 1993;6:225-231.
131. **Skinner R, Maybee J, Transfeldt E, Venter R, Chalmers W.** Experimental pullout testing and comparison of variables in transpedicular screw fixation: A biomechanical study. *Spine* 1990;15:195-201.
132. **Shirazi-Adl A.** Nonlinear stress analysis of the whole lumbar spine and entrapment of dorsal rami. *J Biochem* 1994;27:289-299.
133. **Smith EB, Rasmussen AA, Lechner DE, Gossman MR, Quintana JB, Grubbs BL.** The effects of lumbosacral support belts and abdominal muscles strength on functional lifting ability in healthy women. *Spine* 1996;21: 356-366.
134. **Standring S.** Gray's Anatomy. The anatomical Basis of Clinical Practice. 40th ed. Churchill Livingstone, Elsevier, 2009.
135. **Steffee AD, Sitkowski DJ.** Reduction and stabilization of grade IV spondylolisthesis. *Clin Orthop Relat Res* 1988;227:82-89.
136. **Stoudt HW, Damon A, McFarland R, Roberts J.** Weight, height, and selected body dimensions of adults, United States-1960-62. *Vital Health Stat* 11 1965;11:1-44.
137. **Surós Batlló J, Surós Forns J.** Semiología Médica y Técnica Exploratoria. Elsevier, España, 2001. pp:556-557.
138. **Tank P, Gest T.** Atlas de Anatomía con Correlación Clínica. Ed. Lippincott Williams & Wilkins. 2009.
139. **Tarlov E.** Surgery of ruptured lumbar intervertebral disc. In: Operative Neurosurgical Techniques. Schmidek H, Sweet W, eds. WB Saunders Company, Philadelphia, 1988. pp:1941-1956.
140. **Thiel T.** Atlas Fotográfico de Anatomía Práctica. Springer, Berlín, 2000.
141. **Torres Vaca FJ, Herrera Flores R, Avila Arroyo S, Trinidad Delgado H.** Factores de riesgo asociados a la dorsolumbalgia mecanopostural en pacientes de 30 a 60 años en la U.M.F.R. I.S.S.S.T.E Mexico 2005-2006. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas* 2007;12: 23-26.
142. **Urrutia Vega E, Elizondo Omaña RE, De la Garza Castro O, Guzmán López S.** Morphometry of the pedicle and vertebral body in a Mexican population by CT and fluoroscopy. *Int J Morphol* 2009;27:1299-1303.
143. **Volinn E.** The epidemiology of low back pain in the rest of the world. A review of surveys in low- and middle-income countries. *Spine* 1997;22:1798.
144. **Vostrejs M, Ozuna R.** The role of instrumentation in the degenerative lumbar spine. *Cur Opin Orthop* 1999;10:148-153.

145. **Waddell G.** Volvo award in clinical sciences. A new clinical model for the treatment of low-back pain. *Spine* 1987;12:632-644.
146. **Walker BF.** The prevalence of low back pain: a systematic review of the literature from 1966 to 1998. *J Spinal Disord* 2000;13:205-217.
147. **Walker BF, Muller R, Grant WD.** Low back pain in Australian adults. Prevalence and associated disability. *J Manipulative Physiol Ther* 2004;27:238-244.
148. **Weir J, Abrahams PH.** Atlas de Anatomía Humana por Técnicas de Imagen. 3ª Edición. Ed. Elsevier, Madrid, 2005.
149. **Williams PL, Bannister LH, Berry MM, Collins P, Dyson M, Dussek JE, Ferguson MWJ.** Anatomía de Gray. Bases Anatómicas de la Medicina y la Cirugía. 38ª ed. Churchill Livingstone-Harcourt Brace, Madrid, 1998.
150. **Wolf A, Shoham M, Michael S, Moshe R.** Morphometric study of the human lumbar spine for operations-workspace specifications. *Spine* 2001;26:2472-2477.
151. **Wood KB, Khanna G, Vaccaro AR, Arnold PM, Harris MB, Mehbod AA.** Assessment of two thoracolumbar fracture classification systems as used by multiple surgeons. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:1423-1429.
152. **Yue JJ, Timm JP, Panjabi MM, Jaramillo-de la Torre J.** Clinical application of the Panjabi neutral zone hypothesis: the Stabilimax NZ posterior lumbar dynamic stabilization system. *Neurosurg Focus* 2007;22:E12.
153. **Zhou SY, Chen XS, Jia LS, Zhu W, Fang L, Cai TY.** Short-term clinical results of interspinous dynamic fixation of Coflex for the prevention of adjacent segment degeneration after lumbar fusion. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi* 2012;50:772-775.
154. **Zhuang Z, Chen Y, Han H, Cai S, Wang X, Qi W, Kong K.** Thoracic pedicle morphometry in different body height population: a three-dimensional study using reformatted computed tomography. *Spine* 2011;36:E1547-E1554.
155. **Zindrick MR, Wiltse LL, Widell EH, Thomas JC, Holland WR, Field BT, Spencer CW.** A biomechanical study of intrapedicular screw fixation in the lumbosacral spine. *Clin Orthop Relat Res* 1986;203: 99-112.